

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Timotej Vizváry

Metody pro optimalizaci procesů skladování

Bakalářská práce

2023



K617 Ústav logistiky a managementu dopravy

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Timotej Vizváry

Studijní program (obor/specializace) studenta:

bakalářský – LOG – Logistika a řízení dopravních procesů

Název tématu (česky): **Metody pro optimalizaci procesů skladování**

Název tématu (anglicky): **Methods for Optimizing of the Storage Processes**

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Charakteristika zadaných procesů skladování
- Obecné základní poznatky o principech optimalizace
- Přehled metod vhodných pro optimalizaci procesů skladování
- Aplikace vybrané metody na modelové úloze
- Vyhodnocení získaných poznatků a jejich významu pro praxi



- Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucích bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: GROS, I. a kolektiv. Velká kniha logistiky. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2016. ISBN 978-80-7080-952-5.
JUROVÁ, M. a kolektiv. Výrobní a logistické procesy v podnikání. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-5717-9.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Dušan Teichmann, Ph.D.**
Ing. Andrea Hrníčková

Datum zadání bakalářské práce: **30. září 2022**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **7. srpna 2023**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Tomáš Horák, Ph.D.
vedoucí

Ústavu logistiky a managementu dopravy



prof. Ing. Ondřej Příbyl, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Timotej Vizváry
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....30. září 2022

Pod'akovanie

Týmto chcem poďakovať vedúcim mojej bakalárskej práce, doc. Ing. Dušanovi Teichmannovi, Ph.D. a Ing. Andrei Hrníčkovéj, za odborné vedenie a čas, ktorý mi venovali pri konzultáciách. Svoje poďakovanie smerujem aj mojej rodine a najbližším, ktorí mi boli oporou po celú dobu štúdia.


Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 7. srpna 2023

.....

Podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

METODY PRO OPTIMALIZACI PROCESŮ SKLADOVÁNÍ

Bakalářská práce

srpen 2023

Timotej Vizváry

ABSTRAKT

Predmetom bakalárskej práce je vyhľadanie a spracovanie rôznych optimalizačných metód, ktorými sa dajú riešiť optimalizačné úlohy v procesoch skladovania. Práca rozoberá tieto metódy v špecifických podmienkach skladovania vo vybraných priemyselných odvetviach a vo všeobecných skladovacích procesoch. Ďalším výstupom práce je praktická aplikácia jednej z vybraných optimalizačných metód na danú úlohu.

ABSTRACT

The subject of the bachelor's thesis is the search and processing of various optimization methods which can be used to solve optimization problems in the warehouse processes. The thesis analyses these methods in specific storage conditions in the chosen industrial sectors and in general warehouse processes. Another output of this thesis is the practical application of one of the chosen optimization methods to the given problem.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

optimalizačné metódy, optimalizačné úlohy, optimalizácia, priemyselné odvetvia, skladovacie procesy, skladovanie

KEYWORDS

optimization methods, optimization problems, optimization, industrial sectors, warehouse processes, warehousing

OBSAH

Zoznam použitých skratiek	10
Úvod	11
1 Skladovacie systémy.....	12
1.1 Sklady a ich funkcie	12
1.2 Druhy skladov	13
1.2.1 Riadenie zásob v skladoch.....	13
1.3 Skladovacie technológie.....	15
1.3.1 Skladovanie na voľnej ploche.....	15
1.3.2 Skladovacie nádrže a silá.....	15
1.3.3 Podzemné zásobníky.....	15
1.3.4 Regálové systémy.....	16
1.4 Dynamická časť skladovacích systémov – aktívne prvky.....	17
1.4.1 Ručná manipulácia.....	17
1.4.2 Manipulačné vozíky.....	18
1.4.3 Sklzy	18
1.4.4 Dopravníky.....	19
1.4.5 Žeriavy.....	19
1.5 Dynamická časť skladovacích systémov – pasívne prvky.....	19
1.6 Proces plánovania činností v skladoch.....	19
1.6.1 Strategické plánovanie.....	19
1.6.2 Taktické plánovanie	20
1.6.3 Operatívne plánovanie	20
2 Procesy prebiehajúce v skladoch	21
2.1 Príjem	21
2.2 Uskladnenie	21
2.2.1 Metóda pevného rozmiestnenia	21
2.2.2 Metóda náhodného rozmiestnenia	21
2.3 Vychystávanie.....	22

2.4	Odoslanie.....	22
2.5	Preskladnenie	23
2.5.1	Vnútroskladový presun.....	23
2.5.2	Medziskladový presun.....	23
2.6	Kompletizácia.....	23
3	Predstavenie a popis vybraných priemyselných odvetví.....	25
3.1	Potravinársky priemysel	25
3.1.1	Zušľachtovanie	25
3.2	Chemický priemysel	26
3.2.1	Špecifické skladovanie chemikálií	27
3.3	Elektronický priemysel.....	28
3.3.1	Kompletizácia zásielok v elektronickom priemysle	28
3.4	Spoločné rysy a odlišnosti popísaných odvetví.....	28
3.4.1	Spoločné rysy	28
3.4.2	Odlišnosti	29
4	Optimalizačné úlohy a metódy	30
4.1	Popis optimalizačných úloh a metód	30
4.1.1	Optimalizačné kritérium.....	30
4.1.2	Vstupy.....	30
4.1.3	Premenné (výstupy)	30
4.1.4	Limitujúce faktory	31
4.2	Typy optimalizačných metód	31
4.2.1	Exaktné metódy	31
4.2.2	Heuristické metódy.....	31
4.2.3	Metaheuristické metódy	31
4.2.4	Kombinované metódy	31
4.3	Príklady optimalizačných metód	32
4.3.1	Matematické programovanie	32
4.3.2	Teória hromadnej obsluhy.....	32

4.3.3	Teória zásob	33
4.3.4	Teória grafov	34
4.3.5	Metaheuristické metódy – genetické algoritmy	35
5	Optimalizačné metódy v skladovaní	36
5.1	Potravinársky priemysel – optimalizácia uskladnenia a expedície v produkčných skladoch.....	36
5.2	Chemický priemysel – skladovanie nebezpečných látok	39
5.3	Elektronický priemysel – ručná kompletizácia objednávok	42
5.4	Optimalizačné metódy vo všeobecných skladovacích procesoch	44
5.4.1	Optimalizácia príjmu – metóda na určenie príjmu tovaru	45
5.4.2	Optimalizácia uskladnenia – minimalizácia skladovacieho priestoru	47
5.4.3	Optimalizácia vychystávania v automatizovaných skladoch	51
5.4.4	Optimalizácia príjmu a expedície pomocou simulácie	54
5.5	Zhrnutie použitých optimalizačných úloh a metód	58
6	Modelový príklad	59
6.1	Rekapitulácia zadania úlohy o produkčných skladoch.....	59
6.2	Výpočtový experiment na modelovom príklade	61
6.2.1	Zadanie príkladu	61
6.2.2	Optimalizačný softvér Xpress-IVE	62
6.2.3	Optimalizačný výpočet pre riešenú úlohu	63
6.2.4	Výsledok	65
6.2.5	Vyhodnotenie výsledku	66
	Záver.....	69
	Použité zdroje	71
	Zoznam obrázkov.....	78
	Zoznam tabuliek.....	79

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK

ASRS	Automatický systém skladovania a vyberania
BOBS	Zoraďovanie zásobovania dávok
FEFO	Prvý exspirovaný, prvý von
FIFO	Prvý dnu, prvý von
LAN	Lokálna dátová sieť
LIFO	Posledný dnu, prvý von
LTL	Naložený menej ako do plnej kapacity
MRP I	Plánovanie materiálových požiadaviek
MRP II	Plánovanie výrobných zdrojov
MRP III	Plánovanie materiálových požiadaviek
NP ťažký problém	Nedeterministicky polynomiálny problém
PP	Prepravný prostriedok
SKU	Jednotka na uskladnenie zásob
SLAP	Problém uskladnenia
TIR	Medzinárodná cestná doprava – medzinárodná dohoda
TSP	Problém obchodného cestujúceho
VCP	Vrcholové farbenie grafov
WAN	Rozsiahla sieť
W-OPP	Optimalizácia zberu v automatizovanom sklade

ÚVOD

Skladovanie tvorí neoddeliteľnú súčasť logistického reťazca. Potreba skladovania vzniká najmä z dôvodu nesúladu medzi ponukou a dopytom, pretože neexistuje spôsob, ktorým by firmy dokázali s veľkou presnosťou predpovedať dopyt po určitých výrobkoch v budúcnosti. Pre firmy je zvyčajne lepšou voľbou vyprodukovať viac výrobkov, ako požaduje trh a v danom čase prebytočné výrobky uskladniť, ako keby mali vyrobiť menej výrobkov a riskovať, že dopyt bude presahovať ich produkciu.

So skladovaním sa úzko viažu náklady na skladovanie, preto je v záujme každej firmy, aby svoje skladovacie procesy optimalizovala. Optimalizácia znamená zlepšenie stávajúceho stavu či zefektívnenie procesov a realizuje sa optimalizačnými metódami. Platí, že nie každá optimalizačná metóda dokáže garantovať, že jej riešenie je to najlepšie možné, pretože nie každá optimalizačná metóda sa dá aplikovať na každý sklad rovnako. Takisto nie každá optimalizačná metóda musí fungovať v rôznych podmienkach rovnako. Dôležité pre firmu ale je, aby dokázala ušetriť finančné prostriedky tam, kde to je možné.

V rámci skladovania všeobecne existujú základné skladovacie procesy: príjem, uskladnenie, vychystávanie, expedícia a preskladnenie. Každý z týchto procesov je možné optimalizovať. Optimalizovať je možné aj ďalšie špecifické procesy prebiehajúce v rôznych typoch skladov. Napríklad proces zušľachťovania potravín prebiehajúci v technologických skladoch, počet plôch potrebných pre skladovanie nebezpečných chemických látok či kompletizácia výrobkov do jednej objednávky.

Úvod bakalárskej práce bude zameraný na predstavenie skladov a skladovacích procesov. Nasledovať bude predstavenie priemyselných odvetví, v rámci ktorých budú v neskoršej fáze práce takisto predstavené optimalizačné prístupy. V nasledujúcej časti budú opísané základy optimalizácie. Nadväzovať bude kapitola s konkrétnymi optimalizačnými úlohami v niektorých skladovacích procesoch a metódami, ktorými sa tieto úlohy dajú riešiť. Následne bude z týchto úloh vybratá jedna, na ktorej bude výpočtovo demonštrovaná optimalizačná metóda. Záver práce bude venovaný diskusii nad dosiahnutými výsledkami a ich využitím v praxi.

Cieľom bakalárskej práce je zmapovať rôzne optimalizačné metódy, ktorými sa dajú riešiť optimalizačné úlohy v niektorých skladovacích procesoch, aplikovať jednu z nich na modelovej úlohe a interpretovať dosiahnuté výsledky s využitím v praxi.

1 SKLADOVACIE SYSTÉMY

Prvá kapitola sa zaoberá všeobecným opisom skladov, ich členením, vybavením a riadením. Na záver opisuje proces plánovania činností v skladoch.

1.1 Sklady a ich funkcie

Sklady sú prvky logistických reťazcov, ktoré slúžia na uskladnenie, uchovanie či zhodnotenie tovaru. Svojím spôsobom vo väčšine prípadov ale nie sú žiaduce. Ide totiž o zastavenie toku tovaru [1]. Dajú sa nájsť kategorické tvrdenia, ako: „*Výrobok nesmie byť skladovaný alebo ukladaný, ale mal by byť neustále v pohybe, s čo najmenším počtom krokov spracovania*“ [2]. Aj cez to ale sklady v súčasnosti existujú a dá sa predpokladať, že aj existovať budú. Preto je namieste otázka, ako optimalizovať procesy prebiehajúce v skladoch tak, aby bol tovar uložený čo najkratšiu dobu [1].

Skladovanie existuje vo všetkých častiach logistického reťazca. Veľmi blízkym pojmom so skladovaním sú zásoby, resp. ich existencia, pretože je veľmi ťažké dosiahnuť stavu, kedy sa ponúkané množstvo bude rovnať dopytovanému množstvu. Skladovanie je činnosť, pri ktorej tovar, skladovaný materiál či výrobky nemenia svoje miesto, avšak v rámci skladu sa pohybovať môžu. Pri skladovaní sa obyčajne nemenia ich vlastnosti. Pri niektorých výrobkoch ide presne o to, pri ďalších je ale naopak žiadané, aby sa ich vlastnosti menili (napríklad zrenie ovocia). Ak úmyslom nie je skladovať za účelom zisku, vtedy je skladovanie nežiaduce a tým pádom stratové [3].

Sklady môžu plniť niekoľko funkcií:

Vyrovňavacia funkcia – sklady fungujú ako zásobník, ktorý vyvažuje nerovnováhu, resp. nesúlad medzi dvomi susednými článkami logistického reťazca, tj. medzi výrobou a zákazníkom [3]. Do vyrovnávacej funkcie možno zahrnúť nasledovné funkcie:

- geografická – vybratím vhodne umiestnených skladov je tovar bližšie cieľom konečnej spotreby a to má za následok napr. kratšie dodacie lehoty,
- sezónna – táto funkcia skladov je dôležitá pri sezónnych výrobkoch (napr. zber úrody) alebo pri sezónnej spotrebe (napr. palivá), kedy sa výrobky uskladnia do skladov až do obdobia spotreby,
- kapacitná – sklady takúto funkciu plnia v prípade, ak predchádzajúci článok reťazca produkuje väčšie množstvo produktov, ako je schopný prijať nasledujúci článok,
- kompletizačná – je typická u distribučných skladov, kde sa kompletizujú dodávky pre obchodnú sieť požadujúcu široký sortiment tovaru,

- poistná – v skladoch je treba udržiavať istú zásobu pre možné výkyvy dopytu a nedostatočné schopnosti systému na tieto výkyvy reagovať [1].

Technologická – je nevyhnutnou súčasťou toho, aby mohli prebiehať technologické procesy, napr. zrenie syrov, stabilizácia chemických výrobkov.

Špekulatívna – prevádzkovateľ skladu nakúpi tovar v očakávaní jeho budúceho zhodnotenia (napr. zlato či iné drahé kovy) a do doby jeho predaja tovar skladuje [3].

Výhody skladov:

- dostupnosť produktov v prípade napr. zvýšeného dopytu alebo v prípade prerušenia výroby,
- ak by firma nemala sklad a dostala by veľkú objednávku, ktorú by nevedela pokryť okamžitou výrobou, prišla by o zákazku,
- dajú sa v nich vytvoriť podmienky, v ktorých uskladnené produkty ľahko podliehajúce skaze (potraviny) majú dlhšiu dobu trvanlivosti, čo vedie k nižšej produkcii odpadu.

Nevýhody skladov:

- počiatočné náklady na výstavbu a sprevádzkovanie skladu sú vysoké a menšie firmy si môžu sklad dovoliť len ťažko,
- okrem počiatočných nákladov firma takisto musí platiť prevádzkové náklady (mzdy zamestnancom, účty za energie, ďalšie administratívne úkony), čo znižuje celkový profit firmy (v dnešnej dobe sa už tieto náklady dajú znížiť využitím služieb špecialistu v odbore skladovania) [4].

1.2 Druhy skladov

Všeobecne existuje viacero druhov skladov, ale zjednodušene možno sklady rozdeliť na logistické centrá a bežné sklady. Hlavné rozdiely medzi nimi sú:

- bežný sklad je určený na prosté skladovanie tovaru, zatiaľ čo logistické centrum okrem tejto funkcie ponúka aj služby s pridanou hodnotou ako miešanie tovaru, plnenie objednávky, cross docking atď.,
- operácie vykonávané v logistickom centre sú oveľa komplexnejšie ako v bežnom sklade, takže logistické centrum je obvykle vybavené najnovšími technológiami pre spracovanie objednávky, manažment skladu, riadenie dopravy atď. [5].

1.2.1 Riadenie zásob v skladoch

Riadenie zásob v skladoch predstavuje značný podiel na nákladoch podniku, preto je potrebné mu venovať patričnú pozornosť. V 60. a 70. rokoch minulého storočia boli

na riadenie a plánovanie zásob vyvinuté softwarové produkty MRP I (Material Requirements Planning) a MRP II (Manufacturing Resource Planning), neskôr aj MRP III (Material Requirements Planning). Je vhodné si zvoliť optimálnu stratégiu zásobovania, pre jej stanovenie je potrebné vychádzať z nasledujúceho vzťahu:

$$\min_{t \rightarrow T} (N_1 + N_2 + N_3)$$

kde:

N_1 – celkové náklady na obstaranie zásob,

N_2 – celkové náklady na udržiavanie zásob,

N_3 – straty z nedostatku (predčasného spotrebovania) zásob,

T – časové obdobie, pre ktoré sa výpočet realizuje,

t – dĺžka dodacieho cyklu [3].

Aby sklad mohol bez problémov plniť svoje funkcie, musí udržiavať istú hodnotu zásob. Množstvo zásob je určené:

- požiadavkami na výstupy dané dopytom nasledujúceho článku logistického reťazca. V tomto ohľade je dôležité merať veličiny ako priemer (vývoj priemerného dopytu za jednotku času v zvolených jednotkách, napr. manipulačných), smerodajná odchýlka (ktorá určuje variabilitu veličiny) alebo rozdelenie pravdepodobnostného dopytu,
- vstupmi, systémom dopĺňovania stavu zásob. Zásoby sú dopĺňované väčšinou po rovnako veľkých dávkach v pravidelných intervaloch, v malom množstve prípadov aj kontinuálne (pohonné hmoty dopravované potrubiami), významná veličina z hľadiska riadenia vstupov je dodacia lehota.

Zásoby v skladoch je potrebné priebežne dopĺňovať dopĺňovacími objednávkami. Používajú sa dva základné systémy dopĺňovania zásob:

Q systém – je založený na pevnej veľkosti objednávok uskutočňovaných v momente poklesu stavu zásob pod signálny stav zásob, čiže dolnú objednávaciu hranicu. Pri tomto systéme nie je nutné vytvárať poistnú zásobu pre prípad zvýšenej spotreby [6].

P systém – P systém je založený na premenlivej veľkosti objednávok uskutočňovaných v pevne stanovených časových okamihoch. Využíva hornú objednávaciu hranicu. Je treba mať na pamäti, že ak sa v momente objednávky spraví zlé rozhodnutie

(objedná sa nedostatočné množstvo), dá sa táto chyba napraviť až pri ďalšom termíne objednávania. Preto sa dané objednávané množstvo navyšuje o poistnú zásobu.

Obidva systémy sú postavené na online sledovaní stavu zásob. P systém sa používa najmä u objednávok s veľkou variáciou veľkosti. Q systém sa používa pri relatívne stabilnom dopyte. Systémy sa takisto dajú kombinovať a tak využiť ich prednosti [1].

1.3 Skladovacie technológie

Skladovacie technológie sú technologické vybavenia skladov, napr. manipulačné prostriedky, regály, zakladače atď. Rozlišujeme statické a dynamické skladovacie technológie.

1.3.1 Skladovanie na voľnej ploche

Je to jedna z najjednoduchších a najstarších skladovacích technológií. Plocha by mala mať spevnený povrch, prípadne aj ohradenie plochy či zastrešenie. Skladovaná komodita môže vážiť stovky až tisíce ton.

Plochy sa delia na:

- manipulačné – napr. skladovanie uhlia pri tepelných elektrárňach, na manipuláciu s nimi sa používajú bagre, nakladače a i.,
- odstavné – napr. vyrobené automobily z továrne sa odstavujú na týchto plochách, nie sú potrebné žiadne prostriedky na manipuláciu s nimi,
- úložisko – typickým príkladom je odpad, teda odpadové skládky.

Na voľné plochy môže byť tovar umiestnený vo vhodných manipulačných prostriedkoch, napr. na paletách alebo v kontajneroch. Pri tomto skladovaní je vhodné a efektívne stohovanie, teda skladanie paliet alebo kontajnerov na seba, čím sa ušetrí značné množstvo skladovacej plochy.

1.3.2 Skladovacie nádrže a silá

Využívajú sa na uskladnenie:

- kvapalín – pohonné hmoty, skvapalnené plyny, pitná voda,
- sypkých materiálov – obilie, múka, cement, vápno.

Nádrže a silá obsahujú zariadenie na zistenie stavu zásob, vyprázdňovanie a naplňovanie obsahu či iné bezpečnostné zariadenia [1].

1.3.3 Podzemné zásobníky

Slúžia hlavne na uskladnenie plynov, keďže dopyt po plyne nie je počas roka rovnomerný.

Podľa typu sa zásobníky delia na:

- porézne zásobníky – ide o už vyťažené ložiská ropy a zemného plynu. V špecifických prípadoch sa plyny dajú uložiť aj do podzemných zásobníkov vody, kedy sa voda zatlačí do väčšej hĺbky a tým vznikne priestor pre uskladnenie plynu,
- kavernové zásobníky – sú umelé zásobníky, ktoré boli pôvodne soľnými ložiskami alebo uhoľnými dolmi [7].

1.3.4 Regálové systémy

Tovar sa ukladá na regály, resp. do regálov (políc). Výhodou regálových systémov je prehľadné uloženie tovaru, v prípade predajní ide o vystavovanie produktov. Existuje viacero druhov regálov:

- policové regály – ukladá sa na ne tovar uložený v škatuliach alebo v prepravkách, manipuluje sa s ním ručne,
- paletové regály – sú určené na skladovanie tovaru uloženého na paletách alebo v prepravkách, na manipuláciu s nimi sa využívajú vhodné manipulačné prostriedky, väčšinou vysokozdvížne vozíky [8],
- vjazdové a prejazdové regály – je u nich vysoký podiel využitia skladových priestorov. Vjazdové regály sú prístupné len z jednej strany, prejazdové z oboch strán. Manipulačné prostriedky jazdia priamo do regálov. Vysoké využitie skladových priestorov má za následok neschopnosť použiť systém FIFO (systém, pri ktorom tovar, ktorý sa naskladní ako prvý, opustí sklad ako prvý), používa sa len systém LIFO (systém, pri ktorom tovar, ktorý sa naskladní ako posledný, opustí sklad ako prvý). V regáloch musia byť palety rovnakej veľkosti,
- automatizované sklady drobných súčiastok v ukladacích jednotkách – tovar sa ukladá do prepravky, debny či krabice, ktoré sú automaticky uložené do zakladača [9]. Systém automatických skladov je efektívny z pohľadu využitia dostupného priestoru a času. Zároveň je ale veľmi komplikovaný, finančne náročný a náchylný na poruchy,
- spádové regály – skladuje sa na nich voľne umiestnený tovar alebo tovar umiestnený na paletách, v prepravkách alebo v krabiciach. Spádové regály majú tzv. valčekové trate a tým, že sú spádové regály naklonené, využíva sa gravitačnej sily na posun tovaru. Ten sa uloží na vyššej strane regálu a postupne putuje na druhú stranu, odkiaľ je prístupný napr. pre pracovníkov na montážnej linke. Tieto regály teda využívajú systém FIFO,

- zásuvné regály – využívajú opačný princíp ako spádové regály – LIFO. Sú prístupné iba z jednej strany (nižšej) a tovar sa do regálu zasúva. Pri vyčerpaní materiálu z prepravky sa prepravka odoberie a ďalšia v poradí sa gravitáciou zosunie po valčekoch dole,
- mobilné regálové systémy – efektívne využívajú skladovacej plochy tým, že sa regály dokážu pohybovať a tak zredukovať počet manipulačných uličiek. Pri potrebe vyskladnenia tovaru z regálu je možné danú uličku otvoriť. Tieto regály sú ale veľmi drahé a samotný pohyb regálov je pomalý [1],
- konzolové – stromčekové regály – skladuje sa na nich dlhý alebo tyčový materiál. Sú tvorené regálovým rámom a na ňom sú zvarené konzoly tvaru „L“ alebo „T“. Môžu byť buď jednostranné, vtedy sú konzoly len na jednej strane a druhá strana je umiestnená k stene, alebo obojstranné, kedy sú konzoly na oboch stranách regálu a zároveň sú obidve strany prístupné k manipulácii s tovarom [10],
- karuselové (paternosterové) zásobníky – predstavujú moderný prístup ku skladovaniu, pretože šetria značné množstvo skladovacieho priestoru. Tieto zásobníky sa skladajú zo sekvencie regálov poskladaných na seba (horizontálne karusely) alebo vedľa seba (vertikálne karusely). Ovládajú sa pomocou počítača alebo ručne (pracovník ich ovláda pomocou hardwarových tlačidiel) [8],
- závesné skladovacie systémy – systém je tvorený napr. ramienkami pripevnenými na dráhach. Na ramienka sa zavesuje tovar, najčastejšie je to odev. Existujú aj systémy s hákmi v chladiarenských skladoch potravinárskeho priemyslu, na ne sa vešajú výrobky z mäsa. Tieto systémy môžu takisto slúžiť aj na triedenie a kompletizáciu tovaru a ten je tak pripravený na expedíciu,
- systémy s pevnými pojazdvými dráhami – u vstupe do systému sa nachádza výťah, ktorý zabezpečuje vertikálnu prepravu. Na každej skladovacej úrovni sa nachádza plošina, pomocou ktorej sa tovar prepraví na svoje miesto [1].

1.4 Dynamická časť skladovacích systémov – aktívne prvky

Do dynamickej časti patria aktívne prvky skladovacích systémov, ktoré manipulujú s pasívnymi prvkami pri prijímaní tovaru, jeho uskladnení, vychystávaní, či expedícii. Je to zmena miesta hmotných objektov a zber, prenos a uchovávanie nehmotných objektov, teda informácií. Najvhodnejšie delenie je podľa úlohy, ktorú má daný manipulačný prostriedok vykonávať [11].

1.4.1 Ručná manipulácia

Vyžaduje k manipulácii s materiálom ľudskú silu, človek manipuluje buď čisto pomocou svojho tela alebo za pomoci ručných pomocných zariadení [1]. Jedna z definícií ju

opisuje takto: „Preprava, prenášanie bremena jedným alebo viac zamestnancami, ktorá zahŕňa zdvíhanie, pokladanie, tlačenie, ťahanie, nesenie alebo iný pohyb bremenom“ [12]. Pri manuálnej práci existuje vyššie riziko zranenia, ak nie sú zamestnanci poučení o správnom vykonávaní práce. Odporúča sa spolupráca zamestnancov a ich vedúcich pri odhaľovaní potenciálnych rizík spojených so zranením a ich následné odstránenie.

Ručná manipulácia sa dá rozdeliť do dvoch kategórií:

- ručná manipulácia bez pomocných nástrojov – pri nej človek manipuluje s tovarom len s pomocou vlastného tela, ide napr. o zdvíhanie, ťahanie, strkanie, prenášanie atď.,
- ručná manipulácia za pomoci vhodných manipulačných nástrojov – pre uľahčenie horizontálnej prepravy ide napr. o ručné vozíky či ručné paletové vozíky, v prípade vertikálnej prepravy ide napr. o zdvíhacie plošiny, manipulačné schody či kladkostroje.

1.4.2 Manipulačné vozíky

Vozíky sú najčastejším typom manipulačných prostriedkov. Zaisťujú prácu, ktorá nie je vhodná alebo vykonateľná ľudskou silou – vykladajú a nakladajú ťažký náklad, naskladňujú, vyskladňujú, kompletizujú atď. Podľa typu pohonu ich delíme na manipulačné vozíky:

- bez vlastného pohonu,
- so spaľovacím dieselovým alebo benzínovým motorom,
- s plynovým motorom,
- s elektromotorom.

Najrozšírenejšou skupinou sú čelné vysokozdvížné vozíky, medzi ďalšie patria napr. vychystávacie, portálové, plošinové vozíky, ťahače, kontajnerové teleskopické manipulátory či regálové zakladače.

1.4.3 Sklzy

Sklzy využívajú silu gravitácie na pohyb manipulačnej jednotky z vyššieho miesta na nižšie. Sklzy môžu byť rovné, mierne zatočené alebo špirálovité, z hľadiska materiálu z dreva, kovu či plastu. Využívajú sa pre prepravu krabíc, vriec alebo plastových prepraviek. Dôležitý pri návrhu sklzu je jeho sklon α . Pri jeho malej hodnote nastáva problém zasekávania manipulačných jednotiek v sklze a pri vysokej hodnote sa môže manipulačná jednotka poškodiť.

1.4.4 Dopravníky

V prípade potreby prepravy materiálu vo vysokej frekvencii alebo na väčšiu vzdialenosť sa používajú dopravníky. Pre kusový materiál ide o valčekové dopravníky, v prípade sypkého materiálu ide o pásové dopravníky. Valčekové dopravníky môžu ale aj nemusia mať vlastný pohon, pásové dopravníky sú poháňané elektromotorom.

1.4.5 Žeriavy

Žeriavy sa používajú na manipuláciu s ťažkým a rozmerným materiálom (kovové plechy, rúry). V skladoch sa používajú mostové stohovacie žeriavy nainštalované k stropu skladu. Majú vysokú nosnosť aj výšku zdvihu. Mimo skladov sa používajú mobilné portálové stohovacie žeriavy. Celá konštrukcia stojí na niekoľkých pneumatikách. Využívajú sa na prekladisku medzi cestnými nákladnými vozidlami a železničnými vozňami či v lodných prístavoch [1].

1.5 Dynamická časť skladovacích systémov – pasívne prvky

Medzi túto kategóriu patria komodity, s ktorými manipulujú aktívne prvky – suroviny, dielce, palety, obaly, polotovary a tovary, odpad atď. Operáciami s pasívnymi prvkami sa nemenia základné charakteristiky (napr. množstvo, zloženie), ich účelom je preklenúť priestor a čas [13].

Bakalárska práca sa bližšie tejto tematike nevenuje, preto sú uvedené len základné informácie.

1.6 Proces plánovania činností v skladoch

Plánovanie je súčasť managementu, ktorá vytvára návody či postupy na dosiahnutie stanoveného cieľa. V podnikaní je dôležité plánovať dlhodobé ciele a budovať dlhodobé vízie, ale taktiež aj strednodobé až krátkodobé činnosti, ktoré sú dôležité v danom momente. Z pohľadu časového horizontu plánovania je možné rozlišovať tri druhy plánovania: strategické, taktické a operatívne.

1.6.1 Strategické plánovanie

Toto plánovanie zahŕňa dlhodobý časový horizont, teda rozhodnutia, ktoré majú dlhodobý účinok – zväčša niekoľko rokov. Obsahuje celkový, ucelený pohľad na celé podnikanie, jeho vízie, ciele a hodnoty, napr. výstavba nových distribučných centier alebo automatizácia skladu [14].

Strategický plán firmy stanoví smer, ktorým sa chce uberať, nastaví istú kultúru vo vnútri firmy alebo môže napovedať, aký má firma prístup k obchodným partnerom či zákazníkom.

1.6.2 Taktické plánovanie

V taktickom pláne je obsiahnutá taktika, ako chce daná firma dosiahnuť jej ciele a vízie, ktoré si stanovila v strategickom pláne. Ak v strategickom plánovaní nastáva otázka: „čo?“, tak v taktickom plánovaní sa firma pýta: „ako?“. Časové okno taktických plánov býva v rozmedzí týždňov až mesiacov.

Taktický plán zvyčajne rozoberá veľmi komplexný strategický plán na menšie, ľahšie splniteľné časti. Tieto časti by mali byť konkrétne a mať presný termín dokončenia alebo splnenia, napr. zväčšiť skladovaciu plochu o 500 m² do troch mesiacov.

Takisto by mal tento plán zahrňovať rozpočet, resp. jeho požiadavky na splnenie cieľov, zdroje, odkiaľ bude firma čerpať a následne aj formy marketingu a reklamy.

1.6.3 Operatívne plánovanie

Operatívne plánovanie je krátkodobé plánovanie, obsahuje bežnejšie činnosti, ktoré nevyžadujú tak veľa času na naplánovanie, ako taktické a strategické činnosti. Je veľmi konkrétne, obsahuje presné ciele, ktoré treba dosiahnuť v krátkodobom horizonte (dni až týždne) [15], napr. optimalizácia ukladania paliet či dopĺňanie zberných miest [14].

Tento druh plánovania môže byť buď na mieru vyrobený na jednu príležitosť, vtedy ide o plány s jedným konkrétnym použitím alebo, ak plány majú niekoľko variácií, resp. dajú sa použiť pre viacero prípadov, ide o pokračujúce plány [15].

Aby firma napredovala, nesmie zanedbať ani jednu oblasť plánovania. Môže mať excelentné taktické plánovanie a bežné denné činnosti, ak však nemá strategické plány, tj. víziu, ciele a hodnoty, tak nebude prosperovať z dlhodobého hľadiska. To isté platí aj v prípadoch, ak zanedbá čo i len jeden z ostatných plánov a ďalšie bude mať výborne vypracované [16].

2 PROCESY PREBIEHAJÚCE V SKLADOCH

V tejto kapitole budú bližšie popísané skladovacie procesy. K nim sa v kapitole 5 budú viazať optimalizačné metódy.

2.1 Príjem

Je to prvá, vstupná fáza procesu skladovania. V tejto fáze je potrebná koordinácia a spolupráca danej firmy či podniku s dodávateľom. Príjem zahŕňa širokú škálu menších činností, patria sem napríklad administratívne úkony, vykládka vozidla, fyzická kontrola prijímaného tovaru a následný presun tovaru z areálu príjmu do skladu, resp. na dané miesto určenia (vedľa skladu sa ešte môže nachádzať tzv. vyčkávací priestor, možný je potom aj preklad tovaru bez uskladnenia – cross docking) [8]. Vykládka sa môže realizovať buď ručne (už len zriedka) alebo pomocou manipulačných zariadení (napr. vysokozdvíhací vozík) [3]. Tovar sa môže účtovať rôzne: za jednotlivé produkty, kartóny, balíky, celé palety ale aj litre či kilogramy. Veľkosť týchto položiek môže byť od malej závlačky až po veľkosť palety [17].

2.2 Uskladnenie

Po tom, čo prebehol proces príjmu tovaru, nasleduje fáza jeho umiestnenia v sklade. Na základe toho, aké typy tovaru sa idú uskladniť, možno použiť:

- metóda pevného rozmiestnenia,
- metóda náhodného rozmiestnenia.

2.2.1 Metóda pevného rozmiestnenia

Pri tejto metóde má každý tovar dopredu určené miesto. Ak ide o tovar, ktorý vyžaduje špecifické podmienky skladovania, napr. teplota, osvetlenie či vlhkosť, je pevné rozmiestnenie lepším riešením, pretože využíva rovnaké umiestnenia pre rovnaký účel [18].

2.2.2 Metóda náhodného rozmiestnenia

Ide o opak pevného rozmiestnenia. Tovar nemá dopredu určené miesto, takže sa v rámci skladu umiestňuje náhodne. Avšak realizácia prebieha pomocou preddefinovaných algoritmov, a to znamená, že sú vyžadované prepracované vstupné informácie [8].

Ak je proces uskladnenia vykonaný správne, možno pozorovať viacero benefitov:

- tovar je uskladnený rýchlejšie a efektívnejšie,
- je zaistená bezpečnosť tovaru a zamestnancov,
- je maximalizované využitie skladových priestorov,
- tovar je možné ľahšie a rýchlejšie nájsť, sledovať a vyzdvihnúť [19].

2.3 Vychystávanie

Vychystávanie tovaru sa skladá z nasledujúcich procesov: zaslanie požiadavky na vyskladnenie, zber a balenie [20].

Vyskladnenie – k vyskladneniu existujú viaceré prístupy, závisí na tom, o aký typ skladu ide. Pre potreby bakalárskej práce sú zásadné nasledujúce prístupy:

- FIFO (first in, first out) – ak sa tovar dostane do skladu ako prvý v poradí, tak sa dostane ako prvý aj von zo skladu. Tento prístup sa používa v priechodzích skladoch,
- LIFO (last in, first out) – tovar, ktorý sa dostane do skladu ako posledný opúšťa sklad ako prvý. Využíva sa v bežných skladoch [3],
- FEFO (first expired, first out) – tovar sa vyskladňuje podľa dátumu expirácie. Neberie sa ohľad na to, kedy bol tovar naskladnený, len na to, kedy tovar expiruje. Tento prístup sa využíva najmä v potravinárstve či vo farmaceutickom priemysle [21].

Zber – je vyhľadávanie určitého tovaru v určitom množstve a jeho premiestnenie na miesto balenia. Manipulanti na to používajú vhodné manipulačné prostriedky a takisto elektronické zariadenie, na ktorom majú zoznam požadovaných položiek, ktoré majú vyhľadať, zozbierať a prepraviť na miesto balenia [3]. Čím väčší sklad je, tým väčší nákladový podiel zber predstavuje – môže ísť až o polovicu celkových procesných nákladov. Preto je vhodné pri optimalizácii procesov skladovania dbať na zvýšenú pozornosť práve zberu.

Balenie – je proces, pri ktorom sa združujú nazbierané položky a pripravujú sa na prepravu k zákazníkovi. Jednou z hlavných úloh balenia je zaistiť minimalizáciu poškodení položiek od momentu opustenia skladových priestorov. Zároveň by sa mala dodržiavať optimalizácia balenia tak, aby sa minimalizovala hmotnosť obalových materiálov a s tým spojené náklady na balenie a obaly [19]. Minimalizácia musí prebiehať tak, aby nebola ohrozená bezpečnosť prepravovaného materiálu. Balenie ale nemusí byť nedeľnou súčasťou logistického procesu.

2.4 Odoslanie

Odoslanie (alebo tiež expedícia) objednávky je posledný zo skladovacích procesov a znamená začiatok cesty tovaru zo skladu až k zákazníkovi. Odoslanie a následná doprava objednávky by mali zahŕňať nasledujúce vlastnosti [3], [19]:

- ide o správny tovar,
- tovar je v správnom množstve,

- sú vyhotovené prepravné doklady,
- tovar je vytriedený a naložený,
- tovar je odoslaný k správneému zákazníkovi,
- tovar cestuje vhodným režimom dopravy,
- tovar je doručený bezpečne a včas.

Predchádzajúce procesy, ako príjem, uskladnenie a vychystávanie majú tiež významný vplyv na to, či odoslanie tovaru prebehne bez problémov (ak by napríklad tovar nebol správne zabalený, mohol by sa po ceste znehodnotiť).

2.5 Preskladnenie

Preskladnenie je proces presunu tovaru v sklade na iné miesto. Vykonáva sa z dôvodu lepšieho využitia skladových priestorov a zrýchlenia manipulačných operácií [22].

Rozlišujeme presun vnútroskladový a medziskladový.

2.5.1 Vnútroskladový presun

Ak sa počiatkové aj koncové skladovacie miesto nachádza v tom istom sklade, ide o vnútroskladový presun. Preskladnenie iniciuje buď samotný skladník, v tomto prípade systém cieľové miesto odporučí (ale skladník ho môže zmeniť), alebo systém, ktorý určí, čo a kde sa bude preskladňovať za účelom optimalizácie (teda optimálne rozmiestnenie materiálu v sklade). V oboch prípadoch potom samotné preskladnenie vykoná skladník.

2.5.2 Medziskladový presun

Ak sa tovar presúva do iného skladu, ide o medziskladový presun. Preskladnenie môže opäť iniciovať skladník alebo sa dopredu pripraví tzv. prevodka, čo je doklad o preskladnení. Následne sa realizuje samotné preskladnenie [23].

2.6 Kompletizácia

Kompletizácia je činnosť, ktorá spočíva v zoskupovaní množstva menších zásielok do jednej veľkej. Ak sa všetky položky prepravujú naraz, ušetrí sa náklady na prepravu a čas, keďže inak by sa prepravovali systémom LTL – less than truck load, čo znamená nákladné vozidlo nenaložené naplno. Táto služba je výhodná najmä pre menšie firmy, pre ktoré by náklady za prepravu boli vysoké. Môže byť poskytovaná prepravnými firmami, poskytovateľmi logistických služieb či odosielateľmi.

Najrýchlejšia a najefektívnejšia kompletizácia je skladanie položiek na palety (palety sú ľahko manipulovateľné a stohovateľné, väčšinou drevené manipulačné prostriedky).

Výhody kompletizácie:

- nižšie náklady za prepravu – ak sa majú rôzne zásielky prepraviť rovnakým smerom, je výhodnejšie ich prepraviť spolu (úspora pohonných hmôt, miesta a pracovnej sily),
- nižšie riziko poškodenia – kompletizácia redukuje manipuláciu so zásielkou.

Nevýhody kompletizácie:

- nie všetci dopravcovia poskytujú tieto služby v ideálnom časovom okne a za dobrú cenu, niektorí ju nemusia poskytovať vôbec,
- kompletizácia vyžaduje čas na plánovanie a organizovanie, a tak sa môže celková dodacia lehota predĺžiť [24].

3 PREDSTAVENIE A POPIS VYBRANÝCH PRIEMYSELNÝCH ODVETVÍ

Skladovanie je mierne odlišné v závislosti od priemyselného odvetvia, v ktorom sa uskutočňuje. V tejto kapitole preto budú opísané tri vybrané priemyselné odvetvia a v nadväzujúcich častiach bakalárskej práce bude pre každé z nich konkrétne predstavená optimalizačná úloha v niektorom zo skladovacích procesov, predstavené budú aj metódy pre jej vyriešenie.

3.1 Potravinársky priemysel

Potravinársky priemysel je ekonomické odvetvie, ktoré sa zaoberá spracovaním surových potravín na potravinárske výrobky. Surové potraviny sa môžu spracovávať jedným alebo kombináciou spôsobov, napr. čistenie, krájanie, zrenie, pasterizácia, zmrazovanie, kysnutie, balenie, skladovanie, varenie a mnoho ďalších. Takisto sa používajú metódy, ktoré zaisťujú dlhšiu trvanlivosť potravín, a to napr. pridávaním špeciálnych prídavných látok.

Hlavným dôvodom spracovávania potravín je predĺžiť ich životnosť a tým aj ich bezpečnosť pre spotrebiteľa. Ďalším dôvodom je zachovanie kvality a stability produktov (ovocný džús by sa bez spracovania mohol veľmi rýchlo znehodnotiť). Spracovávanie taktiež zvyšuje rôznorodosť ponúkaných potravinových výrobkov, zlepšuje ich dostupnosť a teda znižuje ich cenu (zmrazené potraviny dokážu vydržať až niekoľko mesiacov) [25].

Potraviny sú balené rôznymi spôsobmi – v konzervách, vreckách, fľašiach či papierových obaloch. Balené sú z dôvodu bezpečnosti – takto sa eliminuje kontakt vonkajšieho prostredia s potravinou alebo jej fyzické poškodenie. Takisto dáva pocit bezpečnosti navyše, keďže ak je potravina zabalená od výroby, tak sa jej nikto nemohol priamo dotknúť. Zabalená potravina uľahčuje jej manipuláciu a skladovanie. Balenie samotné takisto predstavuje priestor pre identifikáciu potravín alebo reklamu [26].

Bakalárska práca v rámci potravinárstva bude bližšie venovaná zušľachtovaniu potravín, keďže tento proces vyžaduje špecifické skladovanie, resp. špecifické podmienky pre skladovanie.

3.1.1 Zušľachtovanie

Pojem zušľachtovanie potravín označuje zmenu v zložení alebo to, že bola istým spôsobom spracovaná a upravená [27]. Častým spôsobom takejto úpravy je fermentácia.

Fermentácia – značí kvasenie či kysnutie. Je to proces premeny organických látok, pri ktorom vznikajú jednoduchšie látky. Pri tomto procese dochádza k obrovskému nárastu počtu mikroorganizmov, ktoré zabezpečujú vznik prostredia, ktoré ochráni danú potravinu pred napadnutím toxickými látkami či rozkladom [28]. Taktiež pH potravín sa mení na kyslejšie, čo znova zabezpečí, že baktérie sa nemôžu rozmnožovať a tak má potravina dlhšiu expiračnú dobu [29].

Fermentácia sa v potravinárskom priemysle využíva najmä na konzerváciu potravín (uhorky, kapusta), výrobu alkoholických nápojov (pivo, víno, whisky) či na kvasenie mliečnych výrobkov (syry, jogurty, tvaroh) [28].

Pozitívny vplyv fermentácie spočíva vo väčšej koncentrácii užitočných látok (vitamíny) a tým pádom ich väčšej účinnosti. Ľudské telo vo všeobecnosti ľahšie spracováva práve fermentované potraviny, avšak telo potrebuje istý čas pre ich spracovanie [29].

3.2 Chemický priemysel

Toto priemyselné odvetvie patrí k najrozmanitejším a spája sa s produkciou či rozkladom látok – pevných, kvapalných aj plyných. Medzi hlavné reakčné látky možno zaradiť vodu, vzduch, soľ, fosílna palivá atď. Chemický priemysel sa teda zaoberá premenou týchto látok na organické a anorganické chemikálie, agrochemikálie, petrochemikálie, keramiku či polyméry [30].

Chemické látky sa používajú takmer všade v každodennom živote:

- poľnohospodárstvo – poskytujú ochranu úrody pred škodcami a zvyšujú jej produkciu,
- medicína – proti chorobám ale aj ako prevencia pred nimi,
- energetika – zvyšujú tepelnú efektívnosť budov - tepelná izolácia,
- domácnosti – mydlo, šampón, prací prášok, sprej proti hmyzu.

Vo všeobecnosti teda chemický priemysel pomáha zvyšovať životnú úroveň.

Spájajú sa s ním však aj negatívne externality – produkcia emisií a s tým spojená uhlíková stopa, poškodzovanie životného prostredia, ekologické katastrofy (havária ropného tankeru v oceáne, vyliatie nebezpečných či toxických chemikálií do vodných zdrojov, výbuch jadrovej elektrárne atď.). Chemický priemysel však produkuje nebezpečné látky aj bez ekologických katastrof – prostým spracovaním surovín a vstupných produktov (napr. chemický podnik vypúšťa benzén) alebo využívaním konečnými spotrebiteľmi (napr. benzén v benzíne, ktorý sa tankuje do automobilov). V tomto priemysle sa hojne využívajú neobnoviteľné zdroje – napr. spaľovanie

uhľovodíkov, čo značne prispieva k tvorbe emisií oxidu uhľičitého, prchavých organických zlúčenín alebo oxidov dusíka. Tieto faktory značne oslabujú ozónovú vrstvu v atmosfére a prispievajú k tvorbe smogu.

Väčšina produkcie chemického priemyslu však slúži ako vstup do výroby iných výrobkov, napr. spracovanie železa alebo iných kovov, využíva sa taktiež v elektrotechnickom či sklárskom priemysle.

Chemický priemysel patrí k veľkým spotrebiteľom energie (podiel 7%) a vody (druhé miesto hneď za poľnohospodárstvom) [31].

3.2.1 Špecifické skladovanie chemikálií

Aj v momente, keď sa chemikálie nepoužívajú, predstavujú určité riziko. Ak sú nesprávne uskladnené, môžu spôsobiť požiar, zraniť alebo otráviť človeka alebo poškodiť majetok. Preto je dôležité nekompatibilné chemikálie, tj. tie, ktoré medzi sebou nebezpečne reagujú, skladovať od seba v určitej vzdialenosti [32].

Všeobecné požiadavky na skladovanie chemikálií sú:

- všetky chemikálie musia byť uložené na bezpečnom mieste,
- regály musia byť vyrovnané a stabilné,
- na regály nesmie pôsobiť žiadny zdroj tepla a svietiť priame slnečné žiarenie,
- nebezpečné chemikálie musia byť uložené pod úrovňou očí,
- chemikálie nesmú byť skladované na zemi ani na okenných parapetoch,
- nádoby s chemikáliami je možné otvárať len na nevyhnutne dlhú dobu,
- nádoby s chemikáliami je potrebné zabezpečiť a označiť, že nádoba je kompatibilná s chemikáliou.

Chemikálie sa od seba oddeľujú podľa svojich nebezpečných vlastností do samostatných kategórií:

- samovznetlivé chemikálie,
- látky reagujúce s vodou,
- horľaviny,
- žieraviny,
- oxidačné činidlá,
- toxické látky,
- výbušniny,
- stlačené plyny,
- kryogény [33].

3.3 Elektronický priemysel

Elektronický priemysel je odvetvie, ktoré sa zaoberá produkciou elektronických zariadení a komponentov pre rôznorodé produkty [34]:

- spotrebná elektronika – televízory, počítače, smartfóny, tlačiarne, fax,
- medicínske vybavenie – prístroje na monitorovanie srdcového rytmu, krvnú dialýzu, magnetickú rezonanciu, röntgen, ultrazvuk,
- priemyselné vybavenie – priemyselní roboti, automatické a riadiace systémy, meracie prístroje,
- komunikačné a sieťové vybavenie – routery, LAN, WAN, prepínače (switch), vstupné brány (gateway).

V tomto priemysle je dnes veľmi silná konkurencia a firmy doňho investujú veľké finančné prostriedky na výskum a vývoj. Keďže elektronika je odvetvie, v ktorom výroby starnú pomerne rýchlo, firmy ani nemajú na výber, pretože predávať staré produkty by neprinášalo vysoké tržby [35].

3.3.1 Kompletizácia zásielok v elektronickom priemysle

Elektronika je jedným z odvetví, v ktorom sa kompletizácia zásielok hojne vyskytuje. Kompletizácia ako taká bola popísaná v podkapitole 2.6.

3.4 Spoločné rysy a odlišnosti popísaných odvetví

Na záver tejto kapitoly budú uvedené spoločné rysy a odlišnosti skladovacích systémov v potravinárskom, chemickom a elektronickom priemysle. Na spracovanie tejto časti boli použité zdroje: [36], [37], [38], [39], [40] a [41].

3.4.1 Spoločné rysy

Vo všetkých troch odvetviach je dôležité vonkajšie prostredie a potreba skladovania položiek od seba:

- teplota – pri potravinách môže byť teplota rôzna v závislosti od druhu a účelu skladovania (krátkodobé alebo dlhodobé), v prípade chemikálií a elektroniky nie je odporúčaná presná teplota skladovania, ale nemala by byť ani príliš nízka, ani príliš vysoká,
- vlhkosť – v závislosti od skladovanej potraviny je požadovaná úroveň vlhkosti iná, pri chemikáliách je dôležitá konzistentná vlhkosť a elektronika by nemala byť uskladnená pri vysokej vlhkosti,
- ako už bolo spomenuté v podkapitole 3.2.1, nekompatibilné chemikálie sa nesmú skladovať blízko seba, elektronické zariadenia by sa mali (ak sa dá) rozobrať

na súčiastky, odpojiť jednotlivé prídavné zariadenia a skladovať oddelene a potraviny by sa mali skladovať oddelene kvôli riziku kontaminácie.

3.4.2 Odlišnosti

Potravinárstvo:

- potraviny majú určitú dobu trvanlivosti, po ktorej už nemusia byť bezpečné pre konzumáciu,
- v potravinárskych skladoch musí byť dodržaná vysoká úroveň hygieny a vykonávaná sanitácia - zamestnanci si musia dôkladne umývať ruky a vedieť správne narábať s potravinami tak, aby sa neznížila ich kvalita,
- je potrebné včasne odhaľovať škodcov, ktorí by mohli potraviny (napr. ryžu či obilie) kontaminovať.

Chemický priemysel:

- zamestnanci musia vedieť o vlastnostiach skladovaných chemikálií, musia vedieť, aké ochranné pomôcky pri manipulácii s chemikáliami používať a čo robiť v krízových situáciách,
- pracovné postupy (akákoľvek manipulácia s chemikáliami) musia zahŕňať bezpečnostné opatrenia kvôli nebezpečeniu chemikálií.

Elektronika:

- elektronika by mala byť chránená pred prachom, ten môže negatívne ovplyvniť spoľahlivosť a skrátiť jej životnosť,
- monitory či displeje sú náchylné na poškodenie, preto by sa mali obaľovať napr. plátnom alebo bavlnou, je taktiež vhodná dodatočná ochrana v podobe napr. ochrannej fólie.

4 OPTIMALIZAČNÉ ÚLOHY A METÓDY

S neustálym rastom a vývojom logistických systémov a procesov vzniká potreba vyvíjať, aktualizovať – teda optimalizovať aj ich procesy. Cieľ optimalizácie procesov spočíva hlavne v zmene súčasných procesov tak, aby procesy boli funkčne efektívnejšie – lacnejšie, rýchlejšie, s menším počtom chýb apod. [42]. Táto kapitola má za cieľ predstaviť teoretické základy optimalizačných úloh a metód. Niektoré z nich budú v nasledujúcej kapitole ukázané na konkrétnych príkladoch.

4.1 Popis optimalizačných úloh a metód

Optimalizačné metódy sa môžu použiť, ak je vyžadované získať najlepšie možné riešenie zadaného problému pri rešpektovaní určitých limitov – tj. minimalizácia alebo maximalizácia hodnôt optimalizačných kritérií. Minimalizovať možno náklady na výrobu, náklady na prepravu, odpad alebo prepravnú vzdialenosť. Maximalizovať možno zisk, produkciu výrobkov či služieb. Niektoré úlohy môžu taktiež vyžadovať zároveň maximalizáciu (napr. produkcie) aj minimalizáciu (napr. náklady) [43]. Medzi základné optimalizačné metódy možno zaradiť napr. matematické programovanie, teóriu zásob, teóriu grafov či heuristické metódy [44]. Tieto optimalizačné metódy budú bližšie opísané v podkapitole 4.3.

Optimalizačné úlohy obsahujú štyri základné elementy: optimalizačné kritérium, vstupy, premenné (výstupy) a limitujúce faktory.

4.1.1 Optimalizačné kritérium

Optimalizačné kritérium je funkcia, ktorej hodnotu treba optimalizovať – maximalizovať alebo minimalizovať. Kritériom môže byť prejedaná vzdialenosť, náklady, produkcia či zisk firmy.

4.1.2 Vstupy

Vstupy sú hodnoty, ktoré sú k dispozícii v zadaní optimalizačnej úlohy, napr. dostupné suroviny na výrobu výrobkov, dostupné pracovné stroje, vzdialenosť zo skladu A do skladu B atď. [45].

4.1.3 Premenné (výstupy)

Premenné sú hodnoty, ktoré reprezentujú výstupy z optimalizačnej metódy [46]. Na vyriešenie optimalizačnej úlohy je potrebné tieto premenné identifikovať. Profesor Janáček rozdelil premenné používané v matematickom programovaní nasledovne: *„Podľa toho, či je množina možných rozhodnutí modelovaná reálnou premennou tvoriacu súvislú oblasť v obore reálnych čísiel alebo iba jeho diskretnu podmnožinu (napr. množinu celých čísiel), hovoríme o úlohách spojitého alebo diskrétného (v prípade*

diskrétnej podmnožiny tvorenej celými číslami potom celočíselného) programovania.“
[47].

4.1.4 Limitujúce faktory

Tieto faktory predstavujú hranice, ktoré ešte môžu premenné nadobúdať. Medzi základné limitujúce faktory môžu patriť nezápornosť a celočíselnosť súčasne s nezápornosťou, medzi ďalšie možno zaradiť binárnosť premenných, poprípade konkrétnejšie zadané podmienky k jednotlivým úlohám, napr. časové obmedzenie prevádzkovania strojov alebo obmedzené množstvo surovín [45].

4.2 Typy optimalizačných metód

Vo všeobecnosti môžeme rozlišovať optimalizačné metódy na dve hlavné kategórie – exaktné a heuristické [48].

4.2.1 Exaktné metódy

Exaktné metódy dokážu vyhľadať optimálne riešenie, ktoré sa nájde bez problémov u jednoduchších úloh. Avšak s rastúcou zložitou sa zvyšuje aj časová náročnosť riešenia. U zložitejších úloh, u ktorých netrváme na exaktnom riešení z rôznych dôvodov (napr. obmedzený čas trvania optimalizačného výpočtu) nachádzame riešenie pomocou heuristických metód [48].

4.2.2 Heuristické metódy

Heuristické metódy vedia vyriešiť úlohy rýchlejšie a úspornejšie než exaktné metódy, ale s tým, že nedokážu zaručiť nájdenie optimálneho riešenia. Heuristické algoritmy sa používajú vtedy, ak sú exaktné metódy príliš výpočtovo alebo časovo náročné [49].

Od týchto základných metód možno odvodiť ďalšie dve metódy, a to metaheuristické a kombinované.

4.2.3 Metaheuristické metódy

Základná črta metaheuristických metód je totožná s heuristickými metódami, teda nájsť čo najlepšie riešenie (opäť nemusí byť optimálne) za čo najkratší čas alebo s čo najmenej vynaloženým výkonom [50]. Metaheuristické metódy sa na rozdiel od heuristických dajú upravovať podľa zadania konkrétnej úlohy [51]. Oproti heuristickým dokážu metaheuristické metódy za určitých okolností vyhľadávať potenciálne lepšie riešenie ako to, ktoré sa dovtedy našlo ako lokálny extrém [52].

4.2.4 Kombinované metódy

V mnohých prípadoch dávajú kombinované metódy kvalitné riešenia, pretože sú schopné súčasne využiť prednosti exaktných a heuristických (prípadne metaheuristických) metód. Kombinované metódy môžu fungovať rôzne: problém môže

byť riešený na základe jedného druhu algoritmu (napr. heuristického) s tým, že je doň vložený iný druh algoritmu (napr. exaktný). Iný prístup spočíva v tom, že viaceré metódy samostatne vykonávajú svoj podiel na celkovom riešení. Taktiež existujú prístupy, kedy sa heuristický algoritmus aplikuje viackrát a následne sa na riešenie použije exaktný algoritmus [53].

4.3 Príklady optimalizačných metód

V nasledujúcich podkapitolách budú bližšie popísané vybrané optimalizačné metódy.

4.3.1 Matematické programovanie

Matematické programovanie označuje matematické metódy na riešenie kvantitatívnych problémov v mnohých disciplínach – napr. fyzika, biológia, ekonomika, podnikanie, doprava. Tieto metódy boli vymyslené uvedomením si, že problémy v rôznych oblastiach majú spoločné matematické prvky a tým pádom sa na nich dajú aplikovať rovnaké alebo podobné princípy pre optimalizáciu [54].

Iná definícia optimalizácie hovorí, že je to disciplína neustále sa prispôsobujúcich procesov pre ich lepšie fungovanie. Na to ale treba tieto procesy najskôr dôkladne zanalyzovať, identifikovať slabé stránky a následne nájsť riešenie [55].

Veľmi dôležitá oblasť, kde sa optimalizácia využíva, je podnikanie. Vykonáva sa hlavne z dôvodu minimalizovania nákladov a maximalizácie profitu.

Matematické programovanie zahrňuje výpočtové metódy, ich štúdium, vlastnosti a ich následnú implementáciu na počítačoch. Tento pojem sa použil prvýkrát už v 40. rokoch minulého storočia, avšak nie v spojitosti s počítačmi, keďže tie boli vymyslené až o niekoľko desaťročí neskôr. S ich vynájdением sa komplexnosť a veľkosť riešených problémov násobne zväčšila. Pokrok v optimalizačných technikách sa okrem vývoja počítačov dá pripísať aj vývoju operačného výskumu, numerických analýz, teórie hier, kombinatoriky atď. [54].

4.3.2 Teória hromadnej obsluhy

Je to ďalšia z možných metód pre optimalizáciu. Vychádza z teórie pravdepodobnosti a z matematiky. Teória hromadnej obsluhy je dôležitým odvetvím, pretože rieši problémy každodenného života, ako čakanie v čakárni, čakanie v rade na bankomat, čakanie na telefónne spojenie s operátorom atď. [56]. Základným pojmom v teórii hromadnej obsluhy je obslužný systém, ktorý sa skladá z trojice: zákazník – linka – obsluha:

- zákazník požaduje vybavenie svojej požiadavky – zákazky, príkladom zákazníka a zákazky môžu byť vyššie spomenuté príklady: človek v rade na bankomat –

výber peňazí, lietadlá pristávajúce na letisku – požiadavka na pridelenie letovej dráhy,

- linka je miesto alebo osoba, prípadne zariadenie, ktoré spracúva zákazníkove požiadavky. Príklady liniek môžu byť: pokladňa, robotník na montážnej linke, centrum služieb zákazníkom,
- obsluha je činnosť, vďaka ktorej sa uspokojí požiadavka zákazníka, napr. telefónne spojenie s operátorom, preprava, oprava produktu.

Základné vlastnosti teórie hromadnej obsluhy sú:

- zákazky sa opakujú v čase a nemusia byť len jedného typu,
- môžu prichádzať časovo nezávisle od seba,
- linky majú obmedzenú kapacitu (počet obsluhovaných zákazníkov je tiež obmedzený) a dĺžku radu (napr. v čakárni) [56].

V reálnych systémoch hromadnej obsluhy je väčšinou príliš veľa parametrov na to, aby bolo možné odvodiť základné charakteristiky klasickými analytickými spôsobmi. Tie sa používajú len na najjednoduchšie prípady. Vo všetkých ostatných prípadoch sa pre daný systém vytvorí simulácia. Simulácia umožňuje pozorovať správanie simulovaného systému, meniť mu rôzne parametre a sledovať, ako ich zmena ovplyvní chod celého systému. Dôležité pritom je, aby sa simulácia vykonávala dostatočne dlho, a tak sa zamedzilo nepresným výsledkom. Čím dlhšie simulácia trvá, tým presnejšie výsledky vyprodukuje [57].

4.3.3 Teória zásob

Predstavuje súhrn matematických metód pre modelovanie a optimalizáciu zásob potrebných k plynulej výrobe či predaju. Pri optimalizácii je základným kritériom minimalizácia celkových nákladov na obstaranie a udržiavanie zásob. Celkové náklady sa dajú rozdeliť do troch kategórií:

- náklady na obstarávanie zásob,
- náklady na udržiavanie zásob,
- náklady z nedostatku zásob [58].

Zásoby v podobe surovín, materiálov, polotovarov alebo hotových výrobkov vykonávajú vyrovnávaciu funkciu v prípade nesúladu medzi výrobou a spotrebou. Môžu nastať dva extrémny: ak sa na sklade nachádza veľké množstvo zásob, je zaistená plynulá výroba, ale sú s tým spojené veľké náklady. V opačnom prípade sú síce náklady na skladovanie malé, ale nemusí byť zaistená plynulá výroba. Modely zásob teda riešia dve základné otázky: kedy objednať novú dodávku a aká veľká by objednávka mala byť.

Modely teórie zásob možno rozdeliť na:

- statické – objedná sa jedna dodávka a z tej sa čerpá na celé určené obdobie, nedá sa dopĺňať,
- dynamické – objednávajú sa viaceré dodávky, teda sklad sa v čase opakovane zásobuje. Je potrebné sledovať aktuálnu úroveň zásob a podľa nej určiť vykonanie nasledujúcej objednávky (Q a P systém popísaný v podkapitole 1.2.1).

Dynamické modely možno rozdeliť na:

- deterministické dynamické – dopyt je predpovedateľný, určený známou funkciou,
- stochastické dynamické – dopyt sa nedá dopredu predpovedať, je to náhodná veličina so známym rozdelením pravdepodobnosti a základnými číselnými charakteristikami [59].

4.3.4 Teória grafov

Ide o ďalšie odvetvie operačnej analýzy, ktoré rieši úlohy sformulované na základe grafického zobrazenia namiesto formulácie matematickými modelmi [60]. Grafy predstavujú zjednodušenie úloh reálneho sveta, keďže ich popisujú pomocou vrcholov a čiar, ich vzájomných vzťahov (prepojení) a vlastností (napr. dĺžka hrany) [61].

Najčastejšie úlohy teórie grafov znázorňujú infraštruktúrne siete [60].

Základom úloh teórie grafov sú špeciálne matematické štruktúry – grafy, ktoré môžu byť neorientované, orientované alebo zmiešané. Neorientovaným grafom rozumieme usporiadanú trojicu $G = (V, X, p)$, kde V a X sú množiny, pričom V je konečná neprázdna množina a p je prosté zobrazenie množiny X do množiny všetkých neusporiadaných $(u, v), u, v \in V, u \neq v$. Prvky množiny V nazývame vrcholmi grafu G , prvky množiny X hranami grafu G a zobrazenie p incidenciou grafu G . Incidencia p priradzuje každej hrane grafu neusporiadanú dvojicu vrcholov. Orientovaný graf je možné definovať ako $D = (V, Y, p)$, kde prvky množiny Y sú orientované hrany a p priradzuje každej hrane usporiadanú dvojicu vrcholov $p(h) = (v_i, v_j)$. Zmiešaný graf vznikne kombináciou neorientovaného a orientovaného grafu.

V rámci teórie grafov existuje veľký počet úloh, ktoré riešia rôzne algoritmy. Budú uvedené aspoň niektoré z nich:

- úloha o minimálnej ceste – Fordov, Dijkstrov, Floydov algoritmus,
- úloha o minimálnej alebo maximálnej kostre – Borůvkov, Jarníkov-Primov, Kruskalov algoritmus,

- úloha o ceste s maximálnou kapacitou – modifikovaný Fordov algoritmus, modifikovaný Floydov algoritmus, algoritmus založený na konštrukcii rezových množín, algoritmus založený na konštrukcii maximálnej kostry,
- úloha o maximálnom toku – Ford Fulkersonov algoritmus [62].

4.3.5 Metaheuristické metódy – genetické algoritmy

Metaheuristické metódy boli rámcovo popísané v podkapitole 4.2.3. V rámci podkapitoly 4.3.5 budú bližšie charakterizované genetické algoritmy.

Genetické algoritmy sú inšpirované prirodzeným vývojom živých organizmov. Patria teda medzi tzv. evolučné algoritmy.

Princípom týchto algoritmov je vývoj jednotlivých generácií do takej situácie, kedy je populácia tvorená tými najlepšimi jedincami. V populácii sa vyskytujú jedinci – chromozómy, ktoré predstavujú prípustné riešenia problému. Chromozóm je tvorený určitým počtom génov, v ktorých sú zakódované hodnoty premenných. Typická reprezentácia hodnôt génov je binárna (0 a 1), ale všeobecne môže byť akákoľvek. Pre každý chromozóm je spočítaná hodnota tzv. fitness funkcie, ktorá popisuje, nakoľko je daný chromozóm vhodný pre ďalšiu generáciu, resp. jeho schopnosť prežiť v konkurencii ostatných chromozómov [63], [64].

Reprodukcia chromozómov nastáva pri krížení a mutácii. Na kríženie sú potrební dvaja rodičia, ktorých kombináciou sa vyprodukujú noví jedinci – potomkovia. Potomkovia majú náhodne časť génov od jedného rodiča a časť génov od druhého rodiča. Mutácia je náhodná zmena niektorého z génov, ktorá môže, ale aj nemusí byť pre chromozóm priaznivá [63]. Kríženie aj mutácia nastávajú s určitými pravdepodobnosťami, teda nie každý chromozóm bude skrížený a nie každý chromozóm zmutuje [65].

Ukončenie algoritmu nastáva, ak:

- v populácii nenastalo výrazné zlepšenie za posledných X iterácií,
- bol dosiahnutý vopred daný maximálny počet generácií,
- fitness funkcia dosiahla predom danú hodnotu [66],
- bola dosiahnutá hodnota maximálneho výpočtového času [67].

5 OPTIMALIZAČNÉ METÓDY V SKLADOVANÍ

V piatej kapitole bude ukázané využitie optimalizačných metód v skladovacích procesoch.

5.1 Potravinársky priemysel – optimalizácia uskladnenia a expedície v produkčných skladoch

Úloha v tejto podkapitole riešená na úrovni taktického plánovania je zameraná na produkčné sklady, ktoré plnia technologickú funkciu (technologická funkcia skladov je vysvetlená v podkapitole 1.1).

V produkčných skladoch prebiehajú dva základné procesy: skladovanie výrobkov a ich expedícia zákazníkom. Prvý proces zvyčajne pozostáva z dvoch fáz: naskladnenie výrobkov samotných a následne ich zušľachtovanie. Zušľachtovanie prebieha najmä v potravinárskom priemysle (zrenie, kvasenie, sušenie apod.). Zušľachtovanie vyžaduje, aby výrobky strávili určitý čas (daný rozmedzím) v skladoch a tak nadobudli potrebné vlastnosti. Je dôležité neprekročiť časové rozmedzie a takisto nevytvárať medzeru medzi prvou a druhou fázou – teda medzi naskladnením samotného výrobku a jeho následným zušľachtovaním, inak sa výrobky môžu znehodnotiť.

5.1.1.1 Charakteristika úlohy

Výrobca dostane zákazku na produkciu určitého množstva výrobkov. Výrobca ale už spracováva skôr prijaté zákazky a preto jeho výrobná kapacita nie je dostupná celá pre novú zákazku (taktiež nemusí byť dostupná žiadna). Nech je v tomto prípade uvažované o nedostupnej výrobnej kapacite pre novú zákazku (súčasná výrobná kapacita je nastavená pre stávajúce zákazky). Takáto situácia môže nastať napr. z dôvodu predom daného časového harmonogramu pre staré zákazky, ktorý sa už nedá zmeniť.

Na vyriešenie tejto situácie môžu manažéri výroby reagovať zvýšením kapacity a tak zvýšením výroby samotnej na uspokojenie novej zákazky. Nech je takéto zvýšenie možné (existuje voľná výrobná kapacita pre novú zákazku).

Na vyriešenie úlohy je nevyhnutné skoordinať voľnú výrobnú kapacitu s kapacitou produkčného skladu z dôvodu zušľachtovacej fázy a jej časovým podmienkam.

Produkčný sklad je obmedzený aj kapacitou expedície. Je teda potrebné naplánovať expedičný proces čo najefektívnejšie – napr. minimalizovať počet potrebných vozidiel.

Túto úlohu je možné riešiť pomocou lineárneho modelu, kde optimalizačným kritériom (vyjadrujúcim efektívnosť) je počet vozidiel použitých na expedíciu.

5.1.1.2 Formulácia problému

Nech je zadané plánovacie obdobie, ktoré je rozdelené do n intervalov. Nech je zadaný objem produkcie Q , ktorý musí byť vyrobený a expedovaný zákazníkovi. Nech je pre každý časový interval $i = 1, \dots, n$ známy objem výroby, ktorý je možný doručiť do produkčného skladu (objem výroby je obmedzený voľnou výrobnou kapacitou a_i). Nech je pre každý časový interval $i = 1, \dots, n$ daná nakladacia kapacita CN_i a kapacita produkčného skladu CS_i . Nech je daný minimálny čas $MINIM$ a maximálny čas $MAXIM$, ktorý výrobky musia stráviť v produkčnom sklade (v tomto príklade sú obidve hodnoty uvažované ako konštantné). Výrobky sú dodávané jednému zákazníkovi vozidlami s rovnakou kapacitou K . Úloha spočíva v určení objemu dodatočnej produkcie v jednotlivých časových intervaloch tak, aby sa použilo minimálne množstvo vozidiel. Voľná kapacita pre naskladňovanie v každom časovom intervale $i = 1, \dots, n$ je určená len pre $i = 1, \dots, n - MINIM$ z dôvodu minimálneho času, ktorý výrobky musia stráviť v produkčnom sklade. Ak platí, že $MINIM = 0$, potom $n - MINIM = n$, odkiaľ $i = 1, \dots, n - MINIM = 1, \dots, n$ a voľná kapacita a_i môže byť určená pre akýkoľvek časový interval plánovacieho obdobia.

Nech sú definované nasledujúce premenné, ktoré modelujú rozhodnutia:

- x_i ako objem produkcie prichádzajúci do skladu v časovom intervale $i = 1, \dots, n - MINIM$,
- y_j ako počet vozidiel expedujúcich výrobky v časovom intervale $j = 1 + MINIM, \dots, n$,
- w_i ako objem produkcie nachádzajúci sa v sklade v časovom intervale $i = 0, \dots, n$ (objem produkcie, ktorý je expedovaný v časovom intervale $i = 1, \dots, n$, sa do hodnoty w_i nezapočítava),
- z_{ij} ako objem produkcie prichádzajúci do skladu v časovom intervale $i = 1, \dots, n - MINIM$ a expedovaný v časovom intervale $j = 1 + MINIM, \dots, n$.

5.1.1.3 Matematický model

Matematický model riešenej úlohy má tvar:

$$\min \sum_{j=1+MINIM}^n y_j \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{n-MINIM} x_i = Q \quad (2)$$

$$x_i \leq a_i \quad i = 1, \dots, n - MINIM \quad (3)$$

$$x_i = \sum_{j=i+MINIM}^{i+MAXIM} z_{ij} \quad i = 1, \dots, n - MAXIM \quad (4)$$

$$x_i = \sum_{j=i+MINIM}^n z_{ij} \quad i = n - MAXIM + 1 \dots n - MINIM \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{j-MINIM} z_{ij} \leq Ky_j \quad j = 1 + MINIM, \dots, 1 + MAXIM \quad (6)$$

$$\sum_{i=j-MAXIM}^{n-MINIM} z_{ij} \leq Ky_j \quad j = 2 + MAXIM, \dots, n \quad (7)$$

$$w_0 = 0 \quad (8)$$

$$w_n = 0 \quad (9)$$

$$w_j = w_{j-1} + x_j \quad j = 1..MINIM \quad (10)$$

$$w_j = w_{j-1} + x_j - \sum_{i=1}^{j-MINIM} z_{ij} \quad j = MINIM + 1, \dots, MAXIM \quad (11)$$

$$w_j = w_{j-1} + x_j - \sum_{i=j-MAXIM}^{j-MINIM} z_{ij} \quad j = MAXIM + 1, \dots, n - MINIM \quad (12)$$

$$w_j = w_{j-1} - \sum_{i=j-MAXIM}^{j-MINIM} z_{ij} \quad j = n - MINIM + 1, \dots, n \quad (13)$$

$$w_i \leq CS_i \quad i = 1, \dots, n \quad (14)$$

$$y_j \leq CN_j \quad j = 1 + MINIM, \dots, n \quad (15)$$

$$x_i \geq 0 \quad i = 1, \dots, n - MINIM \quad (16)$$

$$y_j \in Z_0^+ \quad i = 1 + MINIM, \dots, n \quad (17)$$

$$w_i \geq 0 \quad i = 0, \dots, n \quad (18)$$

$$z_{ij} \geq 0 \quad i = 1, \dots, n - MINIM; j = 1 + MINIM, \dots, n \quad (19)$$

Minimalizujúca účelová funkcia (1) obsahuje optimalizačné kritérium – celkový počet vozidiel expedujúcich výrobky po zušľachtení. Podmienka (2) zaisťuje, aby zákazníkom požadovaný objem výroby bol aj vyprodukovaný v plánovacom období. Podmienka (3) vyjadruje neprekročenie voľnej výrobnnej kapacity objemom výroby. Skupina podmienok (4) a (5) zaisťuje uskutočnenie zušľachtovania. Ide o rozdelenie objemu výroby do jednotlivých časových intervalov podľa minimálnych a maximálnych časov, ktoré musia výrobky stráviť v zušľachtovacej fáze. Požiadavky na nutnú kapacitu vozidiel na expedíciu výrobkov k zákazníkom vzťahujúce k objemu expedovaných výrobkov sú vyjadrené v podmienkach (6) a (7). Podmienky (8) a (9) vyjadrujú, že kapacita produkčného skladu na začiatku a na konci plánovacieho obdobia je nulová. Skupiny podmienok (10) až (13) zaisťujú kontinuitu zásob v jednotlivých časových obdobiach. Podmienka (14) zaisťuje neprekročenie kapacity skladu a podmienka (15) neprekročenie nakladacej kapacity vozidiel. Podmienky (16) až (19) vymedzujú definičné obory premenných použitých v matematickom modeli [68].

5.2 Chemický priemysel – skladovanie nebezpečných látok

Táto podkapitola reflektuje a nadväzuje na základné znalosti popísané v podkapitole 3.2.1.

Ako už bolo zmienené v spomenutej podkapitole, niektoré chemikálie sa nesmú skladovať v tesnej blízkosti. Na to, aby bolo možné určiť, ktoré chemikálie sú si navzájom nekompatibilné, existuje pomôcka, tzv. segregáčna tabuľka, ktorej príklad je uvedený na obrázku 1. Tabuľka obsahuje skupiny chemikálií roztriedené podľa ich stupňa nebezpečnosti pri skladovaní. V jadre tabuľky sú zobrazené vzťahy týchto skupín medzi sebou (pravdepodobne kompatibilné / pravdepodobne nekompatibilné). Vždy existujú nejaké výnimky, preto tabuľka nerozdeľuje striktné na kompatibilné a nekompatibilné, ale odkazuje na ďalšie možné pomôcky v rozhodovaní, či je možné dané chemikálie spolu uskladniť [69].

Class of goods	2.1	2.2	2.2	2.3	3	4.1	4.2	4.3	5.1	5.2	6.1	8	9	Combustible liquids
	SR 5.1													
2.1	✓ A	✓ B	✗ S1	✗ S1	✗ S2	✗ S2	✗ S4	✗ S5	✗ S2	✗ S4	✗ S1	✗ S1	✓ C	✗ S2
2.2	✓ B	✓ A	✓ B	✗ S1	✗ S2	✗ S2	✗ S4	✗ S5	✓ B	✗ S4	✓ B	✗ S1	✓ C	✗ S2
2.2 SR 5.1	✗ S1	✓ B	✓ B	✗ S1	✗ S2	✗ S2	✗ S4	✗ S5	✗ S2	✗ S4	✓ C	✗ S1	✓ C	✗ S2
2.3	✗ S1	✗ S1	✗ S1	✓ I	✗ S2	✗ S2	✗ S4	✗ S5	✗ S2	✗ S4	✓ C	✗ S1	✓ C	✗ S2
3	✗ S2	✗ S2	✗ S2	✗ S2	✓ A	✗ S3	✗ S4	✗ S5	✗ S2	✗ S4	✗ S3	✗ S3	✓ B	✓ B
4.1	✗ S2	✗ S2	✗ S2	✗ S2	✗ S3	✓ A	✗ S4	✗ S5	✗ S2	✗ S4	✗ S3	✗ B	✓ B	✗ S2
4.2	✗ S4	✗ S4	✗ S4	✗ S4	✗ S4	✗ S4	✓ A	✗ S5	✗ S4	✗ S4	✗ S4	✗ B	✓ B	✗ S4
4.3	✗ S5	✗ S5	✗ S5	✗ S5	✗ S5	✗ S5	✗ S5	✓ A	✗ S5	✗ S5	✗ S5	✗ S5	✓ G	✗ S5
5.1	✗ S2	✓ B	✗ S2	✗ S2	✗ S2	✗ S2	✗ S4	✗ S5	✓ D	✗ S4	✓ C	✗ S3	✓ C	✗ S3
5.2	✗ S4	✗ S4	✗ S4	✗ S4	✗ S4	✗ S4	✗ S4	✗ S5	✗ S4	✓ E	✓ CE	✗ S4	✓ CE	✗ S4
6.1	✗ S1	✓ B	✓ C	✓ C	✗ S3	✗ S3	✗ S4	✗ S5	✓ C	✓ CE	✓ A	✓ H	✓ B	✗ S3
8	✗ S1	✗ S1	✗ S1	✗ S1	✗ S3	✓ B	✓ B	✗ S5	✗ S3	✗ S4	✓ H	✓ F	✓ C	✗ S3
9	✓ C	✓ C	✓ C	✓ C	✓ B	✓ B	✓ B	✓ G	✓ C	✓ CE	✓ B	✓ C	✓ A	✓ B
Combustible liquids	✗ S2	✗ S2	✗ S2	✗ S2	✓ B	✗ S2	✗ S4	✗ S5	✗ S3	✗ S4	✗ S3	✗ S3	✓ B	✓ A
✓	May be compatible in many cases with exceptions. Follow the compatible goods guidance notes.													
✗	Likely to be incompatible. Segregation strongly recommended, follow the segregation of guidance notes for incompatible goods.													

Obrázok 1 - segregáčna tabuľka [70]

Všeobecne sa tento problém nazýva problém uskladnenia – storage location assignment problem (SLAP), ktorý v tomto prístupe bude pretransformovaný do úlohy vrcholového farbenia grafov – vertex colouring problem (VCP).

5.2.1.1 Problematika farbenia grafov

Farbenie grafov sa používa vo viacerých oblastiach, nemusí ísť len o problém uskladnenia nekompatibilných látok – môže ísť napr. o rozvrhovací problém práce výrobných liniek, plánovanie zmien pre zamestnancov, plánovanie školského rozvrhu atď.

Zafarbením grafu sa rozumie také pridelenie možného počtu farieb vrcholom alebo hranám grafu, pri ktorom určité vrcholy, resp. hrany nemajú rovnakú farbu. Farbenie vrcholov grafu sa nazýva vrcholové farbenie grafu a farbenie hrán sa nazýva hranové farbenie grafu.

Ak graf G je zafarbený počtom farieb k , tak ide o k - farebný graf.

Chromatické číslo $\chi(G)$ grafu G je najmenšie k , pre ktoré je možné graf zafarbiť [71].

Stupeň vrcholu $\delta(v)$ je počet susedných vrcholov vrcholu v [72].

Úloha tohoto typu (pri taktickom plánovaní) môže mať nasledujúce zadanie: firma vyrába n chemikálií C_1, C_2, \dots, C_n . Určité chemikálie sa nesmú skladovať spoločne, inak by mohli reagovať a spôsobiť rozsiahle škody. Ako opatrenie proti možnosti reakcie chce firma chemikálie skladovať v samostatných boxoch. Otázka znie, minimálne koľko boxov musí firma vytvoriť na to, aby skladovala chemikálie bezpečne.

Pri riešení tohoto typu úlohy je potrebné vytvoriť graf G s vrcholmi $\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ predstavujúcimi dané chemikálie a následne spojiť tie vrcholy (chemikálie), ktoré sú nekompatibilné z pohľadu skladovania. Následne sa pomocou niektorej z metód na minimálne zafarbenie vrcholov grafu vyrieši problém minimálneho farbenia vrcholov grafu. Výsledkom je minimálny počet boxov, ktorý odpovedá chromatickému číslu grafu G (minimálnemu počtu farieb použitých na farbenie vrcholov grafu) [71].

5.2.1.2 Heuristické algoritmy

Keďže problém farbenia grafov je vo väčšine prípadov NP-ťažký problém, vhodným nástrojom na vyriešenie úlohy uskladnenia nebezpečných látok, resp. úlohy farbenia grafov, sú heuristické metódy, napr. žravý algoritmus, Welsh-Powellova metóda, Dsaturova metóda atď. [73].

Žravý algoritmus

1. Zostupné zoradenie vrcholov podľa ich stupňa.
2. Priradenie prvej farby $c_1 = 1$ vrcholu v_1 .
3. Priradenie farby c_1 vrcholu v_2 , ak nie je susedný vrcholu v_1 ; ak je, tak priradenie farby $c_2 = 2$.

V krokoch 4,5, ..., n je vrcholu v_j priradená najnižšia možná farba, ktorú nemajú priradené susedné vrcholy vrcholu v_i [74].

Welsh-Powellova metóda

1. Zostupné zoradenie vrcholov podľa ich stupňa.
2. Vyfarbenie vrcholu s najvyšším stupňom v zozname vrcholov farbou $c_1 = 1$.
3. Postupné vyfarbenie každého vrcholu nesusediaceho s vrcholom v_1 rovnakou farbou. Následné vyškrtnutie všetkých vyfarbených vrcholov v zozname.
4. Zopakovanie algoritmu s nevyfarbenými vrcholmi novými farbami dokým nie sú vyfarbené všetky vrcholy [75].

Dsaturova metóda

Dsaturova metóda používa tzv. stupeň nasýtenia (počet farieb vrcholov, s ktorými vrchol susedí).

1. Zostupné zoradenie vrcholov podľa ich stupňa.
2. Vyfarbenie vrcholu s najvyšším stupňom farbou $c_1 = 1$.
3. Výber vrcholu s najvyšším stupňom nasýtenia (ak ich je viac, tak výber ľubovoľného z nich v nevyfarbenom podgrafe).
4. Vyfarbenie vybraného vrcholu s najnižšou možnou farbou, ktorou nie je farbený žiadny susedný vrchol.

Ak sú všetky vrcholy vyfarbené, algoritmus končí. Ak nie, nasleduje návrat na krok 3 [74].

5.2.1.3 Matematický model

Iný prístup k riešeniu problému uskladnenia ponúka exaktný model z celočíselného lineárneho programovania. Tento model uvažuje najviac n farieb a používa dve skupiny binárnych premenných:

- x_{ih} ($i \in V, h = 1, \dots, n$); $x_{ih} = 1$ ak vrchol i je priradený farbe h ,
- y_h ($h = 1, \dots, n$); $y_h = 1$ ak farba h je v riešení použitá.

Matematický model riešenej úlohy má tvar:

$$\min \sum_{h=1}^n y_h \tag{20}$$

$$\sum_{h=1}^n x_{ih} = 1 \quad i \in V \tag{21}$$

$$x_{ih} + x_{jh} \leq y_h \quad (i, j) \in E, h = 1, \dots, n \tag{22}$$

$$x_{ih} \in \{0,1\} \quad i \in V, h = 1, \dots, n \tag{23}$$

$$y_h \in \{0,1\} \quad h = 1, \dots, n \quad (24)$$

Účelová funkcia (20) minimalizuje počet použitých farieb. Podmienka (21) zaisťuje, aby každý vrchol bol zafarbený práve jednou farbou. Podmienka (22) vyjadruje, že z dvoch susedných vrcholov môže dostať určitú farbu maximálne jeden z nich, ak je daná farba použitá. Podmienky (23) a (24) vymedzujú definičné obory premenných použitých v matematickom modeli [72].

5.3 Elektronický priemysel – ručná kompletizácia objednávok

V tejto podkapitole bude popísaná problematika kompletizácie, ktorá bola predstavená v podkapitole 2.6. Ako bolo ďalej uvedené v podkapitole 3.3.1, kompletizácia je hojne využívaná v elektronickom priemysle.

Na úrovni operatívneho plánovania sa pre zrýchlenie procesu vychystávania často používajú metódy dávkovania (batching) a zónovania (zoning):

- dávkovanie – manipulant sa nevráti na miesto balenia po vyzberaní jednej objednávky, ale môže naraz zberať viacero objednávok do jednej jednotky – dávky (batch),
- zónovanie – jeden manipulant má na starosti len jemu pridelenú časť skladu, odkiaľ zberá časti objednávok. Viacero manipulantov tak týmto spôsobom súbežne zberá položky pre objednávky v celom sklade.

Použitie týchto dvoch metód ale vyžaduje dodatočnú činnosť – kompletizáciu, resp. konsolidáciu objednávok. Pri dávkovaní ide o to, aby jednotlivé objednávky boli osamostatnené a pri zónovaní, naopak, zjednotené.

V súčasnosti síce existujú aj automatické kompletizačné systémy, ale kvôli ich vysokej obstarávacej cene sa im mnohé subjekty vyhýbajú a používajú ručnú kompletizáciu objednávok založenú na odkladacích regáloch.

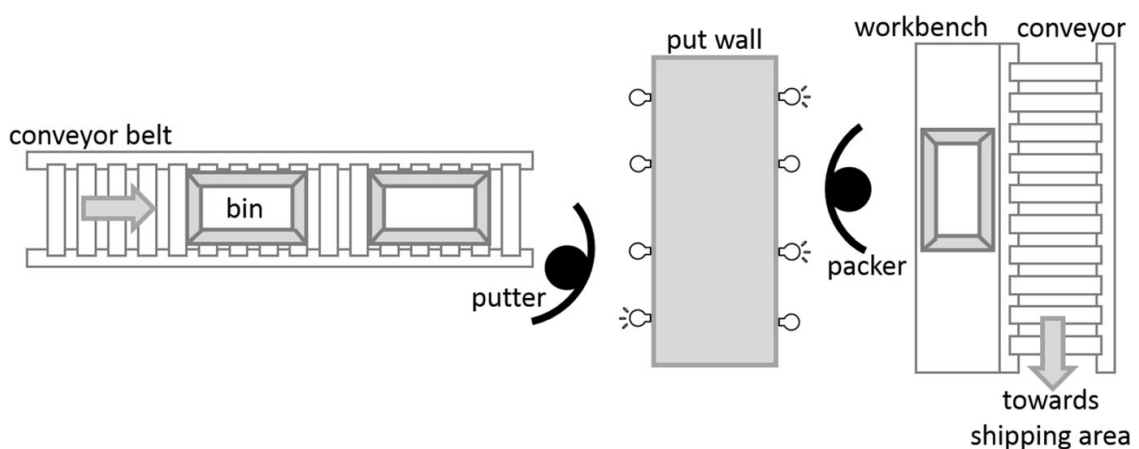
Odkladací regál je regál prístupný z oboch strán a obsahuje priestorové sloty pre jednotlivé objednávky. Slúži na skonsolidovanie objednávok tak, aby sa tieto objednávky mohli v ďalšom kroku už len zabaliť a expedovať.

Prvým krokom spracovania objednávky je zber objednaných položiek. Množstvo manipulantov vyzberá svoje dávky a uložia ich do košov, ktoré sú potom presunuté na dopravníkový pás.

Koše zvyčajne nie sú priamo prepravené do konsolidačnej časti skladu, ale sú dočasne uložené v automatickom systéme skladovania a vyberania – automatic storage and retrieval system (ASRS), kým sa neskompletizuje celá dávka. Predovšetkým

vo väčších skladoch totiž môže byť veľký časový rozdiel medzi vyzberaním položiek prvého a posledného koša jednej dávky. Ak by sa neuplatňoval tento postup, mohlo by sa stať, že niektoré konsolidačné miesta budú blokované (obsadené) zbytočne dlho až do momentu, kým dorazí posledný kôš.

Zjednodušené schéma konsolidačnej a baliacej časti skladu je znázornené na obrázku 2. Koše sú po dopravníku prepravované z ASRS do konsolidačnej časti skladu. Tam sa nachádza pracovník – putter, ktorý zberá jednotlivé položky z košov a umiestňuje ich do slotov odkladacieho regálu – put wall. Na druhej strane regálu sa nachádza ďalší pracovník – packer, ktorý sloty vyprázdňuje a objednávky balí.



Obrázok 2 - zjednodušené schéma konsolidačnej a baliacej časti skladu [76]

Táto úloha je zameraná na optimalizáciu poradia košov, ktoré putujú z ASRS do konsolidačnej časti skladu. Cieľom je minimalizovať sumu kompletizačnej doby, za ktorú sú objednávky vytriedené do slotov odkladacieho regálu.

5.3.1.1 Formulácia problému

Tento problém sa všeobecne nazýva ako problém zoraďovania zásobovania dávok – batched order bin sequencing (BOBS). Na jeho vyriešenie bude uvedený model zmiešaného celočíselného lineárneho programovania. Nech je definovaná množina objednávok $O = \{1, \dots, m\}$ vyzberaná podľa metód dávkovania alebo zónovania, čo znamená, že položky jednej dávky sú rozdelené do množiny $I = \{1, \dots, n\}$ košov. Nech je definovaná podmnožina $I_o \subseteq I$ obsahujúca aspoň jednu položku z objednávky $o \in O$. Spracovanie koša $i \in I$ zaberie čas p_i podľa toho, koľko položiek kôš $i \in I$ obsahuje. Spracovanie košov sa nesmie časovo prekryvať. Nech je definované veľké celé číslo – prohibívna konštanta M (napr., $M = \sum_{i \in I} p_i$).

Nech y_o je nezáporná premenná vyjadrujúca kompletizačný čas objednávky $o \in O$. Nech C_i je nezáporná premenná vyjadrujúca kompletizačný čas koša $i \in I$.

Nech $x_{i,j}$ je binárna premenná a nech jej hodnota 1 znamená, že spracovanie koša $i \in I$ je nasledované spracovaním koša $j \in I$ a hodnota 0, ak toto neplatí. Nech $x_{0,i}$ je binárna premenná a nech jej hodnota 1 znamená, že kôš $i \in I$ bude spracovaný ako prvý a hodnota 0, ak toto neplatí. Nech $x_{i,n+1}$ je binárna premenná a nech jej hodnota 1 znamená, že kôš $i \in I$ bude spracovaný ako posledný a hodnota 0, ak toto neplatí.

5.3.1.2 Matematický model

Matematický model riešenej úlohy má tvar:

$$\min \sum_{o \in O} y_o \quad (25)$$

$$\sum_{i \in I \cup \{0\}} x_{i,j} = 1 \quad \forall j \in I \cup \{n+1\} \quad (26)$$

$$\sum_{j \in I \cup \{n+1\}} x_{i,j} = 1 \quad \forall i \in I \cup \{0\} \quad (27)$$

$$C_i + p_j \leq C_j + M \cdot (1 - x_{i,j}) \quad \forall i \in I \cup \{0\}, \forall j \in I \cup \{n+1\} \quad (28)$$

$$C_0 = 0 \quad (29)$$

$$C_i \leq y_o \quad \forall o \in O, \forall i \in I_o \quad (30)$$

$$x_{i,j} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \cup \{0\}, j \in I \cup \{n+1\} \quad (31)$$

$$C_i \geq 0 \quad \forall i \in I \quad (32)$$

$$y_o \geq 0 \quad \forall o \in O \quad (33)$$

Účelová funkcia (25) minimalizuje kompletizačný čas objednávok. Obmedzujúce podmienky (26) a (27) zabezpečujú, aby poradie košov bolo jasne stanovené. Podmienka (28) nastavuje kompletizačné časy košov a zabezpečuje časové neprekrývanie intervalov spracovania. Podmienka (29) vyjadruje, že prvý (virtuálny) kôš s indexom 0 má kompletizačný čas 0. Kompletizačné časy objednávok popisuje podmienka (30). Podmienky (31), (32) a (33) vymedzujú definičné obory premenných použitých v matematickom modeli [76].

5.4 Optimalizačné metódy vo všeobecných skladovacích procesoch

Táto podkapitola obsahuje optimalizačné metódy pre vyriešenie optimalizačných úloh v niektorých všeobecných skladovacích procesoch (príjem, uskladnenie, vychystávanie, expedícia).

5.4.1 Optimalizácia príjmu – metóda na určenie príjmu tovaru

Príjem tovaru je v podstate sekvencia za sebou idúcich činností. Činnosti musia byť vykonávané v správnom poradí, pretože dokončenie jednej činnosti je predpokladom pre zahájenie nasledujúcej. Správne vykonanie týchto činností zabezpečuje harmonogram dopravných a skladovacích procesov, ktorý je nástrojom pre organizovanie činností v skladoch v operatívnom plánovaní, napr. ich rozdelenie v čase, ich poradie apod. Určuje začiatok a koniec činností vykonávaných zariadeniami na to určenými. Zodpovedá teda na otázky: čo, kedy a s akými nástrojmi.

5.4.1.1 Formulácia problému

Nech sú úlohy, pre ktoré majú byť určené harmonogramy príjmu tovaru, a tieto úlohy nech sú očíslované. Nech I je množina úloh označená indexom i , kde $i = \{1, 2, \dots, m\}$. Prvky množiny I sú úlohy, napr. vykladané vozidlá počas disponibilného času vykladacej rampy. Nech J je množina pracovných nástrojov vykonávajúcich činnosti označené indexom j , kde $j = \{1, 2, \dots, n\}$. Prvky množiny J predstavujú všetky dostupné pracovné nástroje (technológie) na vykonanie úlohy. Nech každá úloha $i \in I$ má pridelený pracovný nástroj $j \in J$, ktorý môže vykonávať spracovanie úlohy $i \in I$. Nech Δt_{ij} je čas vykonávania úlohy $i \in I$ pracovným nástrojom $j \in J$. Množina úloh I a množina pracovných nástrojov J vytvárajú maticu $\Delta = [\Delta t_{ij}]_{I \times J}$, v ktorej jednotlivé prvky vyjadrujú časy vykonávania úloh $i \in I$ pracovnými nástrojmi $j \in J$. Keď niektorý pracovný nástroj $j \in J$ nemôže vykonávať spracovanie úlohy $i \in I$, potom $\Delta t_{ij} = 0$. Nech D je množina miest (vykladacích rámp), kde $d = \{1, 2, \dots, o\}$. Nech T je množina časových okamihov, kde $t = \{1, 2, \dots, p\}$. Prvky množiny T určujú časový rámec pre vykonanie úloh. Vykonávanie úlohy $i \in I$ môže začať v počiatočnom časovom okamihu t_i' a pokračuje bez prerušenia po dobu τ_i' . Pre rampu $d \in D$ je definovaná množina prvkov, kedy je rampa v prevádzke $T_d'' \subseteq T$. Prvý časový okamih, kedy je rampa $d \in D$ v prevádzke, je t_d'' . Analogicky pre pracovný nástroj $j \in J$ je definovaná množina prvkov, kedy je pracovný nástroj v prevádzke $T_j''' \subseteq T$ a prvý časový okamih, kedy je pracovný nástroj $j \in J$ k dispozícii je t_j''' . Nech je pre zjednodušenie uvažované, že doba prevádzky rampy $d \in D$ nie je prerušovaná a trvá τ_d'' a doba prevádzky pracovného nástroja tiež nie je prerušovaná a trvá τ_j''' . Musí platiť:

$$t_d'' + \tau_d'' \leq p$$

$$t_j''' + \tau_j''' \leq p$$

Nech sú definované binárne rozhodovacie premenné $x_{i,j,d,t}$, ktoré predstavujú priradenie pracovného nástroja $j \in J_i$ každej úlohe $i \in I$ vykonanej na rampe $d \in D$ v okamihu $t \in T$. Nech $x_{i,j,d,t}$ je definované takto:

$$x_{i,j,d,t} = \begin{cases} 1: \text{úloha } i \in I \text{ na rampe } d \in D \text{ v čase } t \in T \text{ bude priradená prac. nástroju } j \in J \\ 0: \text{úloha } i \in I \text{ na rampe } d \in D \text{ v čase } t \in T \text{ nebude priradená prac. nástroju } j \in J \end{cases}$$

Rozhodovacie premenné vytvoria maticu $X = [x_{i,j,d,t}]_{I \times J \times D \times T}$.

Predpoklady optimalizácie:

- každá úloha $i \in I$ môže byť vykonaná na ktorejkoľvek vykladacej rampe $d \in D$, ak je na tejto rampe dostupný odpovedajúci pracovný nástroj $j \in J_i$,
- úlohu $i \in I$ môže vykonávať len prípustný pracovný nástroj,
- nie každý pracovný nástroj $j \in J$ musí byť dostupný na každej rampe $d \in D$,
- postupnosť plnenia úloh nie je pevne daná,
- priemerné časy pristavenia a odpojenia vozidla sú zahrnuté do času vykonania úlohy Δt_{ij} .

5.4.1.2 Matematický model

Tvar účelovej funkcie (váha) môže pre rôzne úlohy vyzeráť inak. Pre ilustráciu bude uvedená v podobe, ktorá zaisťuje najrýchlejšie vykonanie všetkých úloh.

Matematický model riešenej úlohy má tvar:

$$\max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} (T - (t_{i,j} + \Delta t_{i,j}) + 2) \cdot \left(\prod_{s=t}^{t+\Delta t_{i,j}} x_{i,j,d,s} \right) \quad (34)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} \left(\prod_{s=t}^{t+\Delta t_{i,j}} x_{i,j,d,s} \right) = 1 \quad \forall i \in I \quad (35)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{i,j,d,t} \leq 1 \quad \forall d \in D, t \in T_d'' \quad (36)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{d \in D} x_{i,j,d,t} \leq 1 \quad \forall j \in J, t \in T_j''' \quad (37)$$

kde výraz $(T - (t_{i,j} + \Delta t_{i,j}) + 2)$ reprezentuje váhu priradenú akémukoľvek prípustnému riešeniu. Konštanta má za úlohu vykompenzovať:

- počiatočný okamih spracovania úloh, ktorý nezačína v $t = 0$, ale v $t = 1$,
- nemožnosť, aby čas vykonávania úlohy bol $\Delta t_{i,j} = 0$, predpokladom je minimálny čas $\Delta t_{i,j} = 1$.

Tieto dve hodnoty 1 sa následne sčítajú a konštanta 2 potom zaisťuje správne pridelenie váhy jednotlivým riešeniam.

Účelová funkcia optimalizačnej úlohy vyjadruje závislosť na potrebách skladovacieho procesu (vykládky), ktorý je predmetom plánovania. Na vyhodnotenie riešení sa každému riešeniu prideli váha a následne je definovaná všeobecná podmienka pre optimalizáciu (maximalizáciu alebo minimalizáciu) účelovej funkcie.

V tomto prípade je definované najlepšie riešenie ako také, ktoré zabezpečí najrýchlejšie vykonanie všetkých úloh. To znamená, že účelová funkcia (34) maximalizuje hodnotu váh, čím určuje, aké rampy $d \in D$ a aké pracovné nástroje $j \in J_i$ budú pridelené úlohám $i \in I$. Maximálna možná váha je T a je pridelená, ak čas vykonávania úlohy je jedna časová jednotka.

Skupina podmienok (35) vyjadruje to, aby každá úloha bola vykonaná – to znamená, že iba jeden zo súčinov sa rovná 1.

Obmedzenie využitia rámp a pracovných nástrojov vyjadrujú skupiny podmienok:

(36) – najviac jedna úloha $i \in I$ môže byť vykonávaná na danej rampe $d \in D$ v akomkoľvek okamihu $t \in T$,

(37) – daný pracovný nástroj $j \in J_i$ môže byť použitý na vykonanie najviac jednej úlohy $i \in I$ v akomkoľvek časovom okamihu $t \in T$ [77].

5.4.2 Optimalizácia uskladnenia – minimalizácia skladovacieho priestoru

V rámci operatívneho manažmentu skladového hospodárstva sú často riešené problémy súvisiace s optimalizáciou uskladnenia tovaru. Neoptimálne uskladnenie tovaru môže spôsobiť finančné straty napríklad z dôvodu využívania zbytočne veľkého skladovacieho miesta. V tejto podkapitole bude predstavená úloha pre jeho minimalizáciu.

Na vyriešenie tejto úlohy bude použitá metóda z problematiky farbenia grafov. Podobne ako pri úlohe 5.2 bude táto úloha pretransformovaná do úlohy vrcholového farbenia grafov – vertex colouring problem (VCP).

Ako bolo vysvetlené v podkapitole 2.2, uskladnenie možno deliť do dvoch kategórií: uskladnenie s pevným rozmiestnením a uskladnenie s náhodným rozmiestnením. S potrebou subjektov v rámci operatívneho plánovania ušetriť na nákladoch na analýzu a požiadavkách na umiestnenie tovaru vznikla potreba kombinovať tieto dva prístupy uskladnenia bez nutnosti použitia drahých a komplexných informačných systémov.

Táto metóda má za cieľ spojiť výhody a zároveň minimalizovať nevýhody oboch prístupov. Výhody zahrňujú:

- minimalizáciu skladovacieho miesta – zníženie nákladov na kúpu alebo prenájom skladovacieho miesta,
- minimalizáciu manipulačného času – zníženie nákladov súvisiacich s dopravou vo vnútri skladu a nákladov na zamestnancov.

Nech v každom voľnom skladovacom mieste (priestorovom slot) môže byť uskladnená iba jedna jednotka na uskladnenie – stock keeping unit (SKU) v danom čase. Nech M_{pt} je počet slotov použitých na uskladnenie jednotky $p \in P$ v čase $t \in T$.

Nech je najprv uvažované uskladnenie s pevným rozmiestnením. Potom celkový počet slotov M_{DED} potrebných na uskladnenie všetkých jednotiek v sklade je:

$$M_{DED} = \sum_{p \in P} \max_{t \in T} \{M_{pt}\} \quad (38)$$

Hlavným cieľom uskladnenia s pevným rozmiestnením nie je minimalizácia počtu slotov – výsledok počtu slotov zo vzťahu (38) je považovaný za hornú hranicu.

Pre bližšie vysvetlenie vzťahu (38) budú uvedené dva jednoduché príklady.

Príklad 1: Nech je uvažované konkrétne skladovacie miesto v sklade, v ktorom je potrebné uskladniť jednu položku ($p = 1$) počas troch časových intervalov ($t = 1,2,3$). Hodnoty počtu slotov M_{pt} pre tento príklad sú uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1 – hodnoty vstupných hodnôt p a t (príklad 1) [autor]

p/t	1	2	3
1	0	0	5

Aplikovanie vzťahu (38) vyzerá nasledovne:

$$M_{DED} = \sum_{p \in P} \max_{t \in T} \{M_{pt}\} = \max\{0; 0; 5\} = 5 \text{ slotov}$$

Príklad 2: Nech je uvažované konkrétne skladovacie miesto v sklade, v ktorom je potrebné uskladniť dve položky ($p = 1,2$) počas troch časových intervalov ($t = 1,2,3$). Hodnoty počtu slotov M_{pt} pre tento príklad sú uvedené v tabuľke 2.

Tabuľka 2 – hodnoty vstupných hodnôt p a t (príklad 2) [autor]

p/t	1	2	3
1	0	0	5
2	16	16	0

Aplikovanie vzťahu (38) vyzerá nasledovne:

$$M_{DED} = \sum_{p \in P} \max_{t \in T} \{M_{pt}\} = \max\{0; 0; 5\} + \max\{16; 16; 0\} = 5 + 16 = 21 \text{ slotov}$$

Nech je uvažované uskladnenie s náhodným rozmiestnením. Potom celkový počet slotov M_{RAN} potrebných na uskladnenie všetkých jednotiek v sklade je:

$$M_{RAN} = \max_{t \in T} \left\{ \sum_{p \in P} M_{pt} \right\} \quad (39)$$

Uskladnenie s náhodným rozmiestnením je vhodné na minimalizáciu počtu slotov, výsledok počtu slotov zo vzťahu (39) je považovaný za dolnú hranicu.

Podobne ako u vzťahu (38) budú uvedené dva jednoduché príklady aj na ilustráciu vzťahu (39). Použitie bude totožné zadanie príkladu 1 a príkladu 2, preto budú uvedené len aplikácie vzťahu (39).

$$\text{Príklad 1: } M_{RAN} = \max_{t \in T} \left\{ \sum_{p \in P} M_{pt} \right\} = \max\{0; 0; 5\} = 5 \text{ slotov}$$

$$\text{Príklad 2: } M_{RAN} = \max_{t \in T} \left\{ \sum_{p \in P} M_{pt} \right\} = \max\{0 + 16; 0 + 16; 5 + 0\} = 16 \text{ slotov}$$

Jadro celého problému spočíva v určení, aké SKU umiestniť do akých priestorových slotov. Na vyriešenie tohto problému je vhodná metóda z teórie grafov – vrcholové farbenie grafov (VCP). Farbenie grafov je postup na nájdenie najnižšieho počtu farieb, ktorými sa dajú zafarbiť vrcholy grafu tak, aby vzájomne susediace vrcholy neboli zafarbené rovnakou farbou.

Vzájomná súvislosť medzi SLAP a VCP je nasledujúca: VCP má za úlohu minimalizovať počet farieb potrebných na zafarbenie vrcholov grafu, zatiaľ čo SLAP má za úlohu minimalizovať počet priestorových slotov potrebných na uskladnenie SKU. Vzniká tu vzťah medzi vrcholmi grafu (VCP) a SKU v skladovacom priestore (SLAP) a aj medzi farbami grafu (VCP) a priestorovými slotmi v skladovacom priestore (SLAP). Základná podmienka úlohy farbenia grafov – odlišné farby u susediacich vrcholov – sa dá pretransformovať do nemožnosti súčasného uskladnenia odlišných SKU do rovnakého priestorového slotu.

5.4.2.1 Formulácia problému

Prvá fáza – vloženie vstupných dát: záznam SKU pre určité časové obdobie je zvyčajne popísaný v maticovej podobe [položka; čas]. Jej hodnoty reprezentujú, koľko slotov potrebuje určitá SKU na uskladnenie v danom časovom období. Nech je uvažované o SKU dostatočne malých na to, aby sa jedna celá SKU dala umiestniť do jedného priestorového slotu, takže hodnoty v matici budú binárne (v tomto prípade akýkoľvek priestorový slot v danom časovom období bude buď zaplnený alebo prázdny).

Druhý krok prvej fázy zahŕňa priradenie váhy θ každému priestorovému slotu $j \in J$, ktorá vyjadruje jeho vzdialenosť od miesta vstupu / výstupu danej SKU. Cieľom tohto kroku je zoradiť priestorové sloty podľa vzdialenosti a tak určiť tie najvhodnejšie pre uskladnenie SKU.

Druhá fáza – vloženie časovej nekompatibility SKU: na určenie SKU, ktorým sa nemôžu priradiť rovnaké priestorové sloty, slúži matica nekompatibilných SKU. Pre každú dvojicu SKU sa vykoná porovnanie ich stavu zásob v každom časovom období – ak existuje aspoň jedno časové obdobie, pri ktorom pri oboch SKU je stav zásob nenulový, musia sa považovať za nekompatibilné.

Použitím matice stavu zásob je potom možné určiť dolnú a hornú hranicu počtu slotov pridelených všetkým SKU (vzťahy (38) a (39)) a následne je možné zostaviť graf znázorňujúci nekompatibilitu SKU, čo už predstavuje vstupné údaje do úlohy VCP: vrcholy grafu predstavujú SKU a hrany znázorňujú ich nekompatibilitu.

Tretia fáza – zostavenie matematického modelu: matematický model uvedený nižšie predstavuje metódu pre konečné uskladnenie SKU do priestorových slotov. Potom je možné určiť počet priestorových slotov potrebných na uskladnenie všetkých SKU a zároveň určiť, ktoré SKU budú priradené ku ktorému slotu. Tento výsledok potom môže byť porovnaný s dolnou a hornou hranicou počtu požadovaných slotov vypočítaných podľa (38) a (39), aby bolo možné vyhodnotiť mieru ušetreného skladovacieho miesta.

Nech N je množina SKU (vrcholov grafu).

Nech E je množina časových nekompatibilití SKU (hrán grafu).

Nech M je množina priestorových slotov (fariieb priradených vrcholom).

$$\text{Nech } y_k = \begin{cases} 1, & \text{ak slot } k \text{ je použitý} \\ 0, & \text{ak slot } k \text{ nie je použitý} \end{cases} \quad \forall k \in M$$

$$\text{Nech } \beta_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{ak položka } i \text{ je priradená slotu } k \\ 0, & \text{ak položka } i \text{ nie je priradená slotu } k \end{cases} \quad \forall i \in N; \forall k \in M$$

5.4.2.2 Matematický model

Matematický model riešenej úlohy má tvar:

$$\min \sum_{k=1}^m y_k \quad (40)$$

$$\beta_{ik} + \beta_{jk} \leq 1 \quad \forall k \in M, \forall (i, j) \in E \quad (41)$$

$$\beta_{ik} \leq y_k \quad \forall k \in M, \forall i \in N \quad (42)$$

$$\sum_{k=1}^m \beta_{ik} = 1 \quad \forall i \in N \quad (43)$$

$$\beta_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall k \in M, \forall i \in N \quad (44)$$

$$y_k \in \{0,1\} \quad \forall k \in M \quad (45)$$

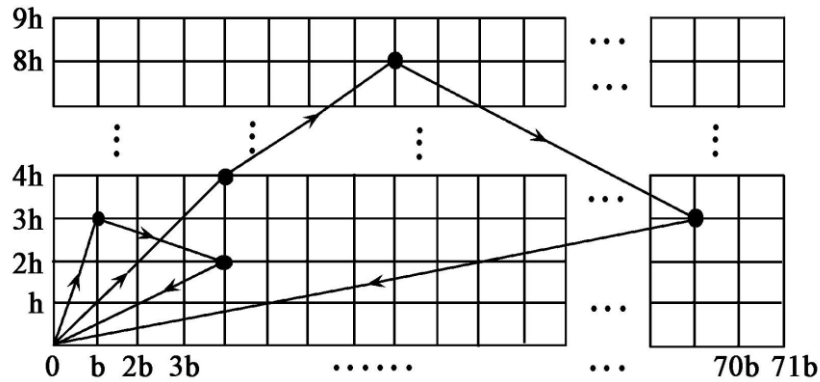
Účelová funkcia (40) vyjadruje celkový počet priestorových slotov (počet použitých farieb), ktoré sa musia použiť na uskladnenie $n \in N$ daných SKU. Skupina podmienok (41) vyjadruje nemožnosť priradenia nekompatibilných SKU tomu istému priestorovému slotu, čiže ak SKU $i \in I$ je nekompatibilná so SKU $j \in J$, nemôže byť priradená tomu istému slotu $k \in M$. Skupina podmienok (42) vyjadruje, že ak priestorovému slotu $k \in M$ je priradená aspoň jedna SKU $i \in I$, tento slot bude obsadený. Podmienka (43) popisuje obmedzenie, že každá SKU bude priradená iba jednému slotu. Podmienky (44) a (45) vymedzujú definičné obory premenných y_k a β_{ik} použitých v matematickom modeli [78].

5.4.3 Optimalizácia vychystávania v automatizovaných skladoch

Automatizované sklady sú v poslednej dobe zavádzané čoraz viac a stávajú sa hlavnými komponentami moderných logistických systémov. Optimalizovanie vychystávania v rámci operatívneho plánovania môže pomôcť zlepšiť efektívnosť automatizovaných skladov. Väčšina výskumu v tejto oblasti sa sústreďuje hlavne na transformáciu úlohy vychystávania na problém obchodného cestujúceho (TSP – traveling salesman problem). Prítom sa ale zanedbávajú obmedzenia obratovej kapacity – takže sa uvažuje o neobmedzenej kapacite prepravných prostriedkov (ďalej len PP) – napr. paletových vozíkov, ktoré zberajú potrebný tovar. V tejto podkapitole preto bude predstavený viacúčelový matematický model zahŕňajúci kapacitné obmedzenia PP.

Problém bude bližšie popísaný na príklade automatizovaného skladu. Nachádza sa v ňom A radov regálov, každý regál má B horizontálnych vrstiev a C vertikálnych vrstiev – teda celkovo D úložných pozícií. V každej uličke medzi dvomi regálmi sa nachádza PP, ktorý sa môže pohybovať horizontálne aj vertikálne. Oba pohyby môže PP vykonávať súčasne. Systém obsahuje niekoľko pracovných úkonov – vstup jednotky, výstup jednotky, vstup zberu objednávky, výstup zberu objednávky, kontrola uskladnenia, preskladnenie atď.

Výstup zberu objednávky vyzerá takto: každý PP začne zber z počiatočnej pozície, postupne prechádza cieľové pozície a zberá tovar. Keď sa jeho kapacita naplní, PP ide späť na začiatočnú pozíciu, kde sa jeho naplnený zberač vymení za prázdny a následne sa proces opakuje tak, aby sa zozbieral všetok objednaný tovar. Príklad trasy PP je znázornený na obrázku 3 (obrázok 3 znázorňuje situáciu z bočného pohľadu z povrchu zeme).



Obrázok 3 - ukážka trasy PP pri zbere tovaru [79]

Každá cieľová pozícia (pozícia, na ktorej sa nachádza zberaný tovar) je reprezentovaná vrcholom a pozícia $[0,0]$ predstavuje počiatočnú pozíciu. Parametre regálov a operácií PP sú nasledovné:

- čas zberu je pevne daný a nemení sa ani s rozličnými trasami zberu,
- vertikálne (v_x) aj horizontálne (v_y) rýchlosti PP sú konštantné a navzájom nezávislé,
- vzdialenosti medzi cieľovými pozíciami sú taktiež konštantné,
- kapacita zberača súvisí s plochou (veľkosťou) zberaného tovaru.

Dĺžka trasy, ktorú PP prejde pri zberaní tovaru, rozlíšená na vertikálnu a horizontálnu zložku, sa pri prejdení z cieľovej pozície $i \in n$ na cieľovú pozíciu $j \in n$, kde n je počet cieľových pozícií, dá zapísať v tomto tvare:

$$d_{ij} = |x_j - x_i| + |y_j - y_i| \quad (46)$$

kde (x_i, y_i) a (x_j, y_j) sú súradnice cieľových pozícií $i \in n$ a $j \in n$.

Doba chodu pri prejdení z pozície $i \in n$ na pozíciu $j \in n$ je:

$$t_{ij} = \max \left\{ \frac{|x_j - x_i|}{v_x}, \frac{|y_j - y_i|}{v_y} \right\} \quad (47)$$

Pozn. pre vzťah (47): vo vzťahu sa vyberá maximum z doby pohybu horizontálnej a vertikálnej zložky PP, pretože limitujúca je tá zložka, ktorej vykonanie trvá dlhšie.

Pre vykonanie úloh zberu musí byť splnená nasledujúca podmienka:

$$\sum_{i=1}^N q_i \leq Q \quad (48)$$

kde q_i je plocha tovaru $i \in n$, ktorý by mal byť zozbieraný, Q je plocha zberača a $Q \geq \max\{q_i, i = 1, 2, \dots, n\}$ (tento predpoklad zaisťuje, že tovar na každej cieľovej pozícii bude z kapacitných dôvodov možné naložiť do zberača).

Optimalizácia zberu v automatizovanom sklade – the automatic warehouse order picking optimization problem (W-OPP) je popísaná nasledovne: úlohou je usporiadať poradie zberov bez prekročenia kapacity zberača tak, aby sa znížil čas chodu a čas práce PP a aby sa znížila prejdená vzdialenosť PP.

5.4.3.1 Formulácia problému

Nech sú všetky cieľové pozície označené $\{1, 2, \dots, n\}$, n je teda počet cieľových pozícií. Nech m je počet vykonaní vychystávania. Nech t_{ij} je čas potrebný na presunutie sa z cieľovej pozície $i \in n$ na cieľovú pozíciu $j \in n$. Nech d_{ij} je vzdialenosť medzi pozíciami $i \in n$ a $j \in n$.

5.4.3.2 Matematický model

Do úlohy zavedieme binárnu premennú x_{ijk} .

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{ak cieľová pozícia } j = 1, \dots, n \text{ je navštívená hneď po cieľovej pozícii } i = 1, \dots, n \\ & \text{v priebehu vychystávania } k = 1, \dots, m \\ 0, & \text{ak nie je} \end{cases}$$

Matematický model riešenej úlohy má tri účelové funkcie a má nasledujúci tvar:

$$\min \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n t_{ij} \sum_{k=1}^m x_{ijk} \quad (49)$$

$$\min m \quad (50)$$

$$\min \sum_{i,j} d_{ij} \sum_k x_{ijk} \quad (51)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m x_{ijk} = \begin{cases} 1, & j = 1, 2, \dots, n \\ m, & j = 0 \end{cases} \quad (52)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ijk} = \sum_{i=1}^n x_{jik}, k = 1, 2, \dots, m; j = 0, 1, 2, \dots, n \quad (53)$$

$$\sum_{i=1}^n q_i \sum_{j=1}^n x_{ijk} \leq Q, k = 1, 2, \dots, m \quad (54)$$

$$\sum_{i \in s} \sum_{j \in s} x_{ijk} \leq |s| - 1, s \subseteq \{1, 2, \dots, n\}, k = 1, 2, \dots, m \quad (55)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} i, j = 0, 1, \dots, n; k = 1, 2, \dots, m \quad (56)$$

Účelová funkcia (49) má za úlohu minimalizovať celkový čas chodu, účelová funkcia (50) minimalizuje počet vykonaní vychystávania a účelová funkcia (51) minimalizuje prejdenú vzdialenosť. Skupina podmienok (52) zaisťuje, že každá požadovaná cieľová pozícia je navštívená PP iba jedenkrát, zatiaľ čo počiatočná pozícia m -krát. Skupina podmienok (53) vyjadruje príchod do jednej pozície a odchod z jednej pozície v tom istom vykonaní vychystávania. Zaistenie toho, aby plocha vychystávaného tovaru nedosahovala plochy zberača, vyjadruje podmienka (54). Podmienka (55) eliminuje nežiaduce podcykly. Skupina podmienok (56) vyjadruje definičný obor premenných v úlohe.

Pre výpočet hodnoty m sa používa vzťah (57):

$$m = UpInt[(\sum_{i=1}^n q_i)/Q] \quad (57)$$

Tento vzťah vyjadruje najmenší možný počet vykonaní vychystávania. Symbol *UpInt* znamená, že sa hodnota výrazu zaokrúhľuje nahor.

Matematický model bez účelových funkcií (49) a (50) a bez kapacitnej podmienky zberača (54) odpovedá matematickému modelu TSP. To znamená, že TSP je špecifickým prípadom W-OPP [79].

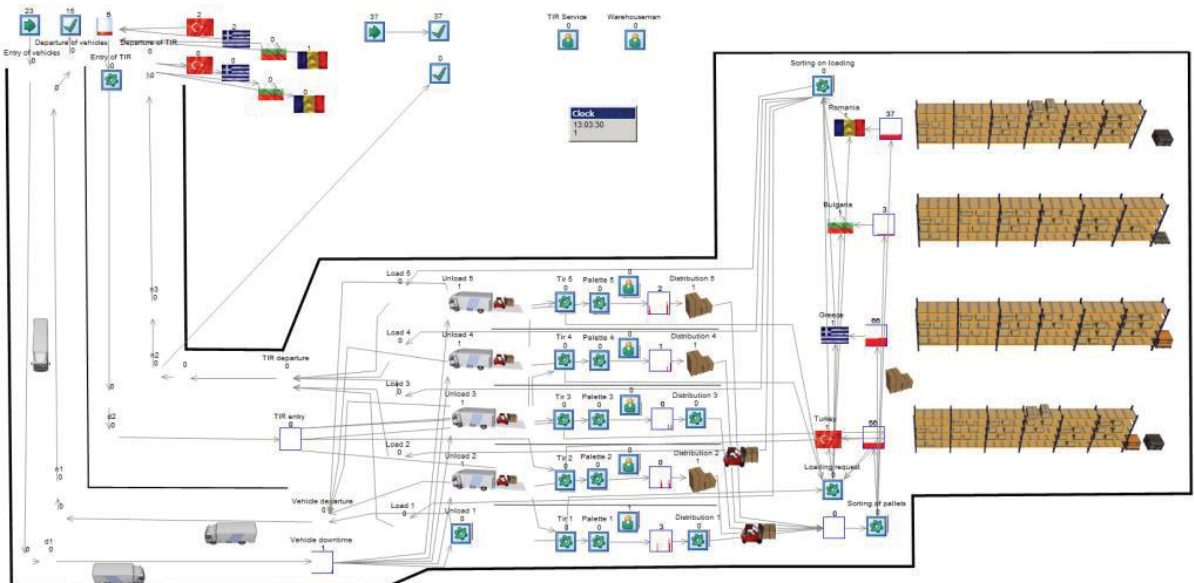
5.4.4 Optimalizácia príjmu a expedície pomocou simulácie

Simulácia predstavuje spôsob riešenia optimalizačných úloh, ktorý je pre firmy výhodný z finančného aj časového hľadiska. Pomocou nej sa dajú ľahko nájsť tzv. úzke hrdlá (bottlenecks) v konkrétnom mieste logistického reťazca. Ak sa nájde takéto miesto, pomocou simulácie je možné nájsť riešenia kombinovaním hodnôt premenných v úlohe. Výstup zo simulácie by mal predstavovať konečnú a konkrétnu podobu optimalizácie riešeného procesu. Úloha, ktorá bude v tejto podkapitole predstavená, sa bude týkať strategického plánovania firmy – znižovania prestojov nákladných vozidiel v špedičnej spoločnosti.

5.4.4.1 Vstupy a popis simulácie

Simulácia bola vykonaná pomocou programu SIMUL8. Na vytvorenie simulácie bol vybraný sklad, do ktorého v priebehu týždňa smerujú zásielky a na konci týždňa zásielky sklad opúšťajú. Problém prestojov nákladných vozidiel sa objavuje pravidelne každý piatok hlavne cez dopravnú špičku kvôli nedostatočnej kapacite skladov a počtu nakladacích rámp.

Simulovaný proces začína o 7:00 odoslaním zásielok od zákazníkov k firemnému terminálu, odoslanie je realizované nákladnými vozidlami obsluhujúcimi lokálne okolie (ďalej len nákladné vozidlá). Tieto nákladné vozidlá čakajú na vyloženie zásielok, ktoré budú dočasne uložené do medziskladu. Akonáhle sú všetky zásielky v medzisklade, môžu byť uložené na konečné miesta v regáloch. Zásielky, ktoré čakajú na naloženie do nákladných vozidiel môžu byť v tomto momente naložené. Model simulácie končí naložením a opustením posledného nákladného vozidla o 20:00. Na obrázku 4 možno vidieť simulačný model, ktorý bol použitý.



Obrázok 4 - ukážka simulačného modelu [80]

5.4.4.2 Vytvorenie simulačného modelu

Model sa skladá z nasledujúcich základných komponentov:

- nákladné vozidlo,
- nákladné vozidlo v medzinárodnej doprave – nákladné vozidlo TIR (Transports Internationaux Routiers),
- paleta,
- skladník,
- colnica,
- cieľ.

Príjazdy nákladných vozidiel sú časovo zoskupené:

- 7:00 až 12:00 – nákladné vozidlá prichádzajúce v intervale 37,5 minút – celkovo 8 vozidiel,
- 12:00 až 15:00 – nákladné vozidlá prichádzajúce v intervale 4 minúty – celkovo 45 vozidiel,

- 15:00 až 17:00 – nákladné vozidlá prichádzajúce v intervale 17 minút – celkovo 7 vozidiel.

Sklad má päť nakladacích rámp a kapacita skladu je obmedzená. Od 7:00 do 15:30 je k dispozícii desať skladov, ranná smena pracuje v rovnakom časovom intervale. Poobedná smena pracuje od 12:00 kvôli špičke. Od 15:30 je k dispozícii už len päť skladov.

Dôležitý časový okamih v simulácii predstavuje príchod nákladného vozidla TIR, ktoré má byť naložené o 16:00. Všetky nákladné vozidlá TIR sú rozdelené do štyroch destinácií: Rumunsko, Bulharsko, Grécko a Turecko.

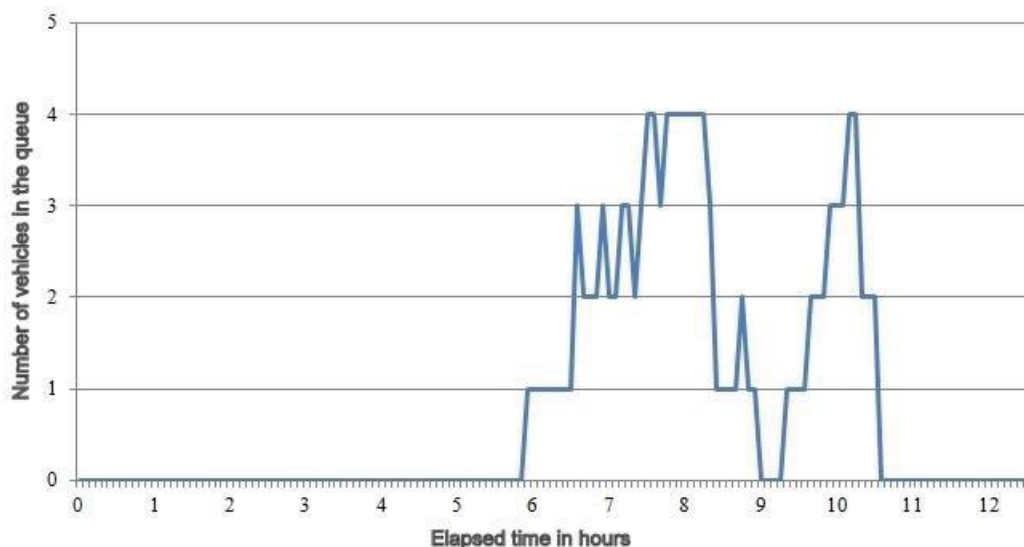
Najdôležitejší faktor simulácie je prestoj nákladných vozidiel, pretože za každú hodinu čakania nákladného vozidla bez prístupu na rampu sa platí penále 500 Kč.

5.4.4.3 Simulačné experimenty

Na začiatok je potrebné zanalyzovať súčasný stav celého systému. Pozornosť bude, kvôli hlavnému cieľu – minimalizácii času prestojov nákladných vozidiel, zameraná na prichádzajúce nákladné vozidlá, ktoré majú byť vyložené a odchádzajúce nákladné vozidlá, ktoré majú byť naložené.

Súčasný stav

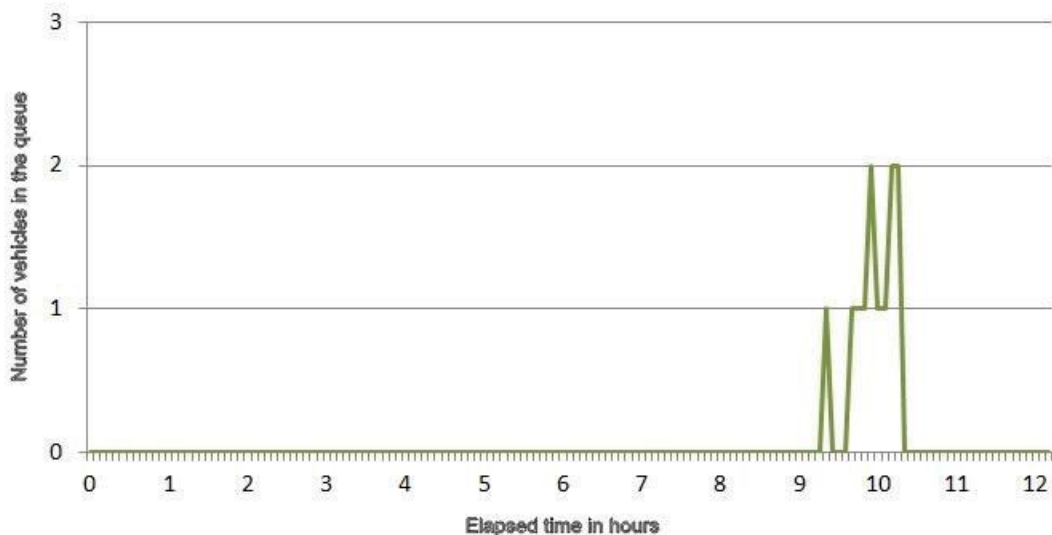
Výsledok simulácie súčasného stavu sa nachádza na obrázku 5, ktorý ukazuje, že po šiestich hodinách sa začína tvoriť rad, v ktorom v určitých časoch budú čakať až štyri nákladné vozidlá. Takáto situácia by firmu stála 4 915 Kč denne. Nasledujúce experimenty sa budú snažiť tento problém odstrániť.



Obrázok 5 - počet čakajúcich nákladných vozidiel čakajúcich v rade [80]

Experiment 1

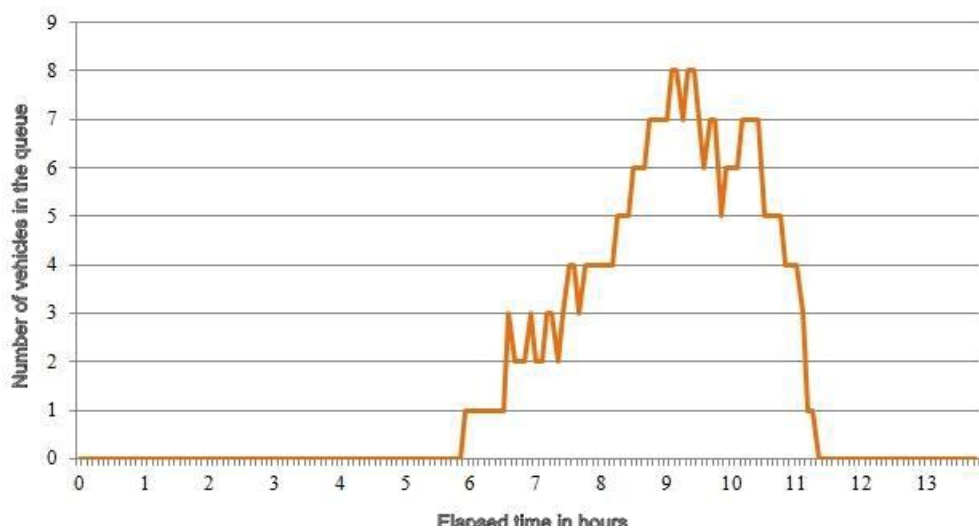
Jednou z možností, ako znížiť čas prestojov nákladných vozidiel je pridať pracovnú silu. Nech je ďalší skladník k dispozícii od 12:00, ktorý bude k dispozícii aj na poobednej smene. Graf (obrázok 6) ukazuje výsledky experimentu 1 – firma by platila penále 500 Kč denne, ale zároveň by musela zaplatiť o jedného skladníka navyše.



Obrázok 6 - počet čakajúcich nákladných vozidiel v rade po prvom experimente [80]

Experiment 2

Druhou možnosťou je posunúť príchod nákladného vozidla TIR na skorší termín – 15:00. Tento krok ale zhoršil situáciu oproti výsledkom simulačného experimentu 1 kvôli nedostatočnej kapacite rámp a pracovnej sile (obrázok 7), penále za čakanie nákladných vozidiel by bolo 1 870 Kč denne. Nepomohlo ani posunutie príchodu na 17:00, keďže generovaná strata by v tomto experimente dosahovala 3 540 Kč.



Obrázok 7 - počet čakajúcich nákladných vozidiel v rade po druhom experimente [80]

Experiment 3

Táto možnosť zahŕňa posunutie príchodu nákladného vozidla TIR na 17:00 a pridanie jedného skladníka. Simulácia ukazuje nulové prestoje nákladných vozidiel, ale je potrebné do nákladov zahrnúť jedného skladníka navyše.

Ďalšou možnosťou by bolo pridanie jednej nakladacej rampy, ale v tomto konkrétnom sklade nie je miesto na rozšírenie, preto toto riešenie nie je uvažované [80].

5.5 Zhrnutie použitých optimalizačných úloh a metód

V kapitole 5 boli predstavené optimalizačné úlohy v niektorých skladovacích procesoch a metódy na ich vyriešenie. Je nutné zdôrazniť, že na ich vyriešenie môžu existovať aj iné metódy, táto bakalárska práca však nemala za cieľ zmapovať každú z nich, ale len ukázať vybrané metódy, ktorými sa tieto úlohy dajú riešiť.

Podkapitoly 5.1, 5.2 a 5.3 sa venovali optimalizačným úlohám v špecifických podmienkach skladovania: produkčným sklodom, skladovaniu nebezpečných látok a kompletizácii. Podkapitola 5.4 opisovala všeobecné optimalizačné úlohy v niektorých skladovacích procesoch – príjem, uskladnenie, vychystávanie a expedícia.

V podkapitole 4.2 venujúcej sa typom optimalizačných metód bolo uvedené rozdelenie metód na exaktné, heuristické, metaheuristické a kombinované. Na konci kapitoly 5 možno zhodnotiť, že uvedené optimalizačné metódy reprezentovali najmä exaktné metódy z matematického programovania. Modely matematického programovania boli zostavené na mieru predstaveným úlohám, keďže úlohy sú veľmi úzko profilované – väčšinou nejde o všeobecne známy a rozšírený problém, na ktorý by existovalo mnoho už zadefinovaných metód (už zadefinované metódy je preto potrebné modifikovať). Naopak, na úlohu o skladovaní nebezpečných látok boli okrem matematického modelu predstavené aj heuristické metódy, keďže problematika farbenia grafov je známa úloha z teórie grafov.

V ďalšej kapitole bakalárskej práce bude na základe ľubovoľného výberu autora riešený modelový príklad k optimalizačnej úlohe 5.1 o produkčných skladoch.

6 MODELOVÝ PRÍKLAD

Záverečná kapitola sa venuje modelovému príkladu, na ktorom bude demonštrovaný výpočtový postup optimalizačnej úlohy o produkčných skladoch. Nasledovať bude vyhodnotenie získaných poznatkov.

6.1 Rekapitulácia zadania úlohy o produkčných skladoch

Na modelový príklad bola vybratá úloha o produkčných skladoch v potravinárskom priemysle, ktorá bola v určitých častiach modifikovaná. Pre pripomenutie bude zopakované zadanie tejto modifikovanej úlohy (5.1.1.1).

Výrobca dostane zákazku na výrobu určitého množstva výrobkov. Výrobca ale už spracováva skôr prijaté zákazky a preto jeho výrobná kapacita nie je dostupná celá pre novú zákazku (taktiež nemusí byť dostupná žiadna). Nech je v tomto prípade uvažované o nedostupnej výrobnej kapacite pre novú zákazku (súčasná výrobná kapacita je nastavená pre stávajúce zákazky). Takáto situácia môže nastať napr. z dôvodu predom daného časového harmonogramu pre staré zákazky, ktorý sa už nedá zmeniť.

Na vyriešenie tejto situácie môžu manažéri výroby reagovať zvýšením kapacity a tak zvýšením výroby samotnej na uspokojenie novej zákazky. Nech je takéto zvýšenie možné (existuje voľná výrobná kapacita pre novú zákazku).

Pre vyriešenie úlohy je nevyhnutné skoordinať voľnú výrobnú kapacitu s kapacitou produkčného skladu z dôvodu zušľacht'ovacej fázy a jej časovým podmienkam.

Produkčný sklad je obmedzený aj kapacitou expedície. Je teda potrebné naplánovať expedičný proces čo najefektívnejšie – napr. minimalizovať počet potrebných vozidiel.

Túto úlohu je možné riešiť pomocou lineárneho modelu, kde optimalizačným kritériom (vyjadrujúcim efektivitu) je počet vozidiel použitých na expedíciu.

6.1.1.1 Formulácia problému

Nech je zadané plánovacie obdobie, ktoré je rozdelené do n intervalov. Nech je zadaný objem produkcie Q , ktorý musí byť vyrobený a expedovaný zákazníkovi. Nech je pre každý časový interval $i = 1, \dots, n$ známy objem výroby, ktorý je možný doručiť do produkčného skladu (objem výroby je obmedzený voľnou výrobnou kapacitou a_i). Nech je pre každý interval $i = 1, \dots, n$ daná nakladacia kapacita vozidiel CN_i (predpokladáme, že nakladacie kapacity podľa jednotlivých typov vozidiel – modifikácia úlohy – v jednotlivých časových intervaloch sú rovnaké) a kapacita produkčného skladu CS_i . Nech je daný minimálny čas $MINIM$ a maximálny čas $MAXIM$, ktorý výrobky musia

stráviť v produkčnom sklade (v tomto príklade sú obidve hodnoty uvažované ako konštantné).

Modifikácia úlohy: Výrobky môžu byť zákazníkom dodávané vozidlami s odlišnými kapacitami K . Nech počet typov vozidiel s rôznymi kapacitami je v . Úloha spočíva v určení objemu dodatočnej produkcie v jednotlivých časových intervaloch tak, aby sa použilo minimálne množstvo vozidiel. Voľná kapacita pre naskladňovanie v každom časovom intervale $i = 1, \dots, n$ a_i je určená len pre $i = 1, \dots, n - MINIM$ z dôvodu minimálneho času, ktorý výrobky musia stráviť v produkčnom sklade. Ak platí, že $MINIM = 0$, potom $n - MINIM = n$, odkiaľ $i = 1, \dots, n - MINIM = 1, \dots, n$ a voľná kapacita a_i môže byť určená pre akýkoľvek časový interval plánovacieho obdobia.

Nech sú definované nasledujúce premenné:

- x_i ako objem produkcie prichádzajúci do skladu v časovom intervale $i = 1, \dots, n - MINIM$,
- y_{jl} ako počet vozidiel expedujúcich výrobky v časovom intervale $j = 1 + MINIM, \dots, n$ a vo vozidle $l = 1, \dots, v$,
- w_i ako objem produkcie nachádzajúci sa v sklade v časovom intervale $i = 0, \dots, n$ (objem produkcie, ktorý je expedovaný v časovom intervale $i = 1, \dots, n$, sa do hodnoty w_i nezapočítava),
- z_{ijl} ako objem produkcie prichádzajúci do skladu v časovom intervale $i = 1, \dots, n - MINIM$ a expedovaný v časovom intervale $j = 1 + MINIM, \dots, n$ vozidlom s kapacitou $l = 1, \dots, v$.

Matematický model riešenej úlohy má tvar (význam jednotlivých častí modelu je v princípe rovnaký ako v prípade modelu uvedeného v podkapitole 5.1):

$$\min \sum_{j=1+MINIM}^n \sum_{l=1}^v y_{jl} \quad (58)$$

$$\sum_{i=1}^{n-MINIM} x_i = Q \quad (2)$$

$$x_i \leq a_i \quad i = 1, \dots, n - MINIM \quad (3)$$

$$x_i = \sum_{j=i+MINIM}^{i+MAXIM} \sum_{l=1}^v z_{ijl} \quad i = 1, \dots, n - MAXIM \quad (59)$$

$$x_i = \sum_{j=i+MINIM}^n \sum_{l=1}^v z_{ijl} \quad i = n - MAXIM + 1 \dots n - MINIM \quad (60)$$

$$\sum_{i=1}^{j-MINIM} z_{ijl} \leq K_l y_{jl} \quad j = 1 + MINIM, \dots, 1 + MAXIM; l = 1, \dots, v \quad (61)$$

$$\sum_{i=j-MAXIM}^{n-MINIM} z_{ijl} \leq K_l y_{jl} \quad j = 2 + MAXIM, \dots, n; l = 1, \dots, v \quad (62)$$

$$w_0 = 0 \quad (8)$$

$$w_n = 0 \quad (9)$$

$$w_j = w_{j-1} + x_j \quad j = 1..MINIM \quad (10)$$

$$w_j = w_{j-1} + x_j - \sum_{i=1}^{j-MINIM} \sum_{l=1}^v z_{ijl} \quad j = MINIM + 1, \dots, MAXIM \quad (63)$$

$$w_j = w_{j-1} + x_j - \sum_{i=j-MAXIM}^{j-MINIM} \sum_{l=1}^v z_{ijl} \quad j = MAXIM + 1, \dots, n - MINIM \quad (64)$$

$$w_j = w_{j-1} - \sum_{i=j-MAXIM}^{j-MINIM} \sum_{l=1}^v z_{ijl} \quad j = n - MINIM + 1, \dots, n \quad (65)$$

$$w_i \leq CS_i \quad i = 1, \dots, n \quad (14)$$

$$y_{jl} \leq CN_j \quad j = 1 + MINIM, \dots, n; l = 1, \dots, v \quad (66)$$

$$x_i \geq 0 \quad i = 1, \dots, n - MINIM \quad (16)$$

$$y_{jl} \in Z_0^+ \quad i = 1 + MINIM, \dots, n; l = 1, \dots, v \quad (67)$$

$$w_i \geq 0 \quad i = 0, \dots, n \quad (18)$$

$$z_{ijl} \geq 0 \quad i = 1, \dots, n - MINIM; j = 1 + MINIM, \dots, n; l = 1, \dots, v \quad (68)$$

6.2 Výpočtový experiment na modelovom príklade

Na overenie funkčnosti modifikovaného matematického modelu bol vybraný príklad z článku, ktorý slúžil ako zdroj v podkapitole 5.1. Vstupné údaje z tohoto príkladu sú v tejto práci rovnaké, avšak kvôli modifikácii modelu boli doplnené o konštanty reprezentujúce kapacity jednotlivých typov vozidiel.

6.2.1 Zadanie príkladu

Za určitý časový úsek rozdelený na 8 intervalov je potrebné vyrobiť 200 kusov výrobkov. Minimálny a maximálny čas zušľachtovania výrobkov v produkčnom sklade sú tri a štyri časové jednotky. Na expedíciu výrobkov sú používané tri druhy vozidiel s odlišnými kapacitami: 70, 100 a 140. Voľná kapacita pre naskladňovanie, nakladacia kapacita a kapacita produkčného skladu v jednotlivých časových intervaloch sú uvedené v tabuľke 3.

Tabuľka 3 - voľná kapacita pre naskladňovanie, nakladacia kapacita a kapacita produkčného skladu [68]

Časový interval i	1	2	3	4	5	6	7	8
a_i	130	20	20	20	50	40	0	90
CS_i	200	110	140	100	100	150	150	60
CN_j	3	0	2	4	4	4	1	4

Úlohou je pri dodržaní obmedzujúcich podmienok určiť počet výrobkov vstupujúcich do produkčného skladu v jednotlivých časových intervaloch a počet zušľachtených výrobkov vystupujúcich z produkčného skladu v jednotlivých časových intervaloch tak, aby bolo vyrobených žiadaných 200 kusov výrobkov a celkový počet použitých vozidiel bol minimálny.

6.2.2 Optimalizačný softvér Xpress-IVE

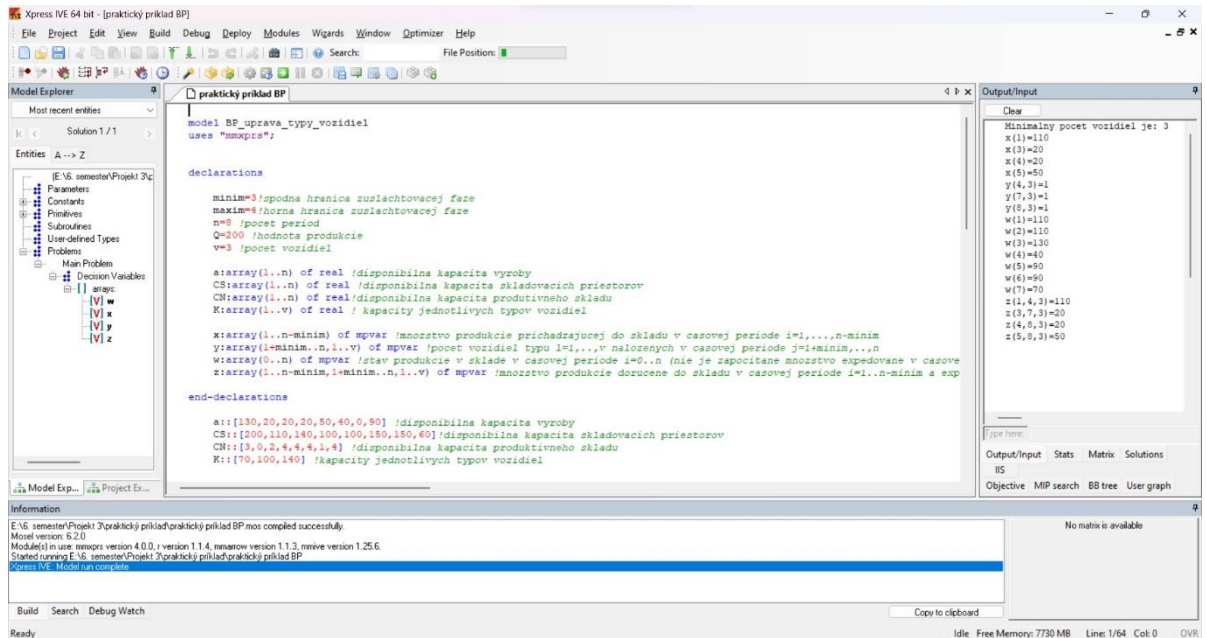
Na vyriešenie definovanej úlohy bude použitý softvérový optimalizačný nástroj Xpress-IVE využívajúci programovací jazyk Mosel. Na obrázku 8 je vyobrazené pracovné prostredie tohto nástroja.

V hornej časti pracovného prostredia sa nachádza menu so základnými funkciami, okrem toho sa tu nachádzajú tlačidlá na kompiláciu a aktiváciu optimalizačného výpočtu. Dolná časť pracovného prostredia obsahuje informácie o úspešnosti / neúspešnosti prekladu programu, pri neúspešnom pokuse o preklad sa tu zobrazia chyby. V ľavej časti pracovného prostredia sa zobrazujú okrem iného konštanty a premenné. Pravá časť pracovného prostredia obsahuje hodnoty premenných vypočítaných v priebehu optimalizačného výpočtu. Stredná časť pracovného prostredia slúži na zápis textu programu.

Samotný text programu musí rešpektovať gramatické pravidlá jazyka Mosel a taktiež musí mať istú štruktúru. Tá pozostáva z týchto častí:

- názov textu programu,
- používané knižnice a moduly,
- deklarácia premenných,
- deklarácia konštant,
- zápis obmedzujúcich podmienok,
- zápis účelovej funkcie,

- požiadavka na výstupné texty vypisované do pravého okna pracovného prostredia,
- ukončenie programu.



Obrázok 8 - prostredie optimalizačného softvéru Xpress-IVE [autor]

6.2.3 Optimalizačný výpočet pre riešenú úlohu

Na riešenie úlohy je potrebné napísať text programu, tj. pretransformovať matematický model do programovacieho jazyka Mosel. Text programu má tvar:

```
model BP_uprava_typy_vozidiel
```

```
uses "mmxprs";
```

```
declarations
```

```
MINIM=3
```

```
MAXIM=4
```

```
n=8
```

```
Q=200
```

```
v=3
```

```
a:array(1..n) of real
```

```
CS:array(1..n) of real
```

```
CN:array(1..n) of real
```

```

K:array(1..v) of real
x:array(1..n-MINIM) of mpvar
y:array(1+MINIM..n,1..v) of mpvar
w:array(0..n) of mpvar
z:array(1..n-MINIM,1+MINIM..n,1..v) of mpvar

end-declarations

a::[130,20,20,20,50,40,0,90]
CS::[200,110,140,100,100,150,150,60]
CN::[3,0,2,4,4,4,1,4]
K::[70,100,140]

forall(i in 1..n-MINIM)x(i)

forall(j in 1+MINIM..n, l in 1..v)y(j,l) is_integer

forall(i in 0..n)w(i)

forall(i in 1..n-MINIM, j in 1+MINIM..n, l in 1..v)z(i,j,l)

sum(i in 1..n-MINIM)x(i)=Q

forall(i in 1..n-MINIM)x(i)<=a(i)

forall(i in 1..n-MAXIM)x(i)=sum(j in i+MINIM..i+MAXIM)sum(l in 1..v)z(i,j,l)

forall(i in n-MAXIM+1..n-MINIM)x(i)=sum(j in i+MINIM..n)sum(l in 1..v)z(i,j,l)

forall(j in 1+MINIM..1+MAXIM,l in 1..v)sum(i in 1..j-MINIM)z(i,j,l)<=K(l)*y(j,l)

forall(j in 2+MAXIM..n,l in 1..v)sum(i in j-MAXIM..n-MINIM)z(i,j,l)<=K(l)*y(j,l)

w(0)=0

w(n)=0

forall(j in 1..MINIM)w(j)=w(j-1)+x(j)

forall(j in MINIM+1..MAXIM)w(j)=w(j-1)+x(j)-sum(i in 1..j-MINIM)sum(l in 1..v)z(i,j,l)

forall(j in MAXIM+1..n-MINIM)w(j)=w(j-1)+x(j)-sum(i in j-MAXIM..j-MINIM)sum(l in 1..v)z(i,j,l)

```



```

forall(j in n-MINIM+1..n)w(j)=w(j-1)-sum(i in j-MAXIM..j-MINIM)sum(l in 1..v)z(i,j,l)

forall(i in 1..n)w(i)<=CS(i)

forall(j in 1+MINIM..n,l in 1..v)y(j,l)<=CN(j)

pocet_vozidiel:=sum(j in 1+MINIM..n)sum(l in 1..v)y(j,l)

minimize(pocet_vozidiel)

writeln("Minimalny pocet vozidiel je: ",getobjval,"")

forall(i in 1..n-MINIM|getsol(x(i))>0)writeln("x(",i,")=",getsol (x(i)))

forall(j in 1+MINIM..n, l in 1..v|getsol(y(j,l))>0)writeln("y(",j,"",",",l,")=",getsol (y(j,l)))

forall(i in 0..n|getsol(w(i))>0)writeln("w(",i,")=",getsol (w(i)))

forall(i in 1..n-MINIM, j in 1+MINIM..n, l in
1..v|getsol(z(i,j,l))>0)writeln("z(",i,"",",",j,"",",",l,")=",getsol (z(i,j,l)))

end-model

```

6.2.4 Výsledok

Výsledok tvoria vyčíslené optimalizačné kritérium a premenné:

Hodnota optimalizačného kritéria (minimálny počet vozidiel) je 3.

Hodnoty premenných sú vypísané v tabuľkách 4 a 5.

Tabuľka 4 - hodnoty premenných x_i , y_{jl} a w_i [autor]

Časový interval i	1	2	3	4	5	6	7	8
x_i	110	0	20	20	50	0	0	0
y_{j1}	0	0	0	0	0	0	0	0
y_{j2}	0	0	0	0	0	0	0	0
y_{j3}	0	0	0	1	0	0	1	1
w_i	110	110	130	40	90	90	70	0

Vzhľadom k tomu, že v riešení bolo vybrané len vozidlo $l = 3$, v nasledujúcej tabuľke obsahujúcej hodnoty premenných z_{ijl} sú použité hodnoty týchto premenných len s indexom $l = 3$.

Tabuľka 5 – hodnoty premenných z_{ij3} [autor]

Časový interval i	1	2	3	4	5	6	7	8
z_{i13}	0	0	0	0	0	0	0	0
z_{i23}	0	0	0	0	0	0	0	0
z_{i33}	0	0	0	0	0	0	0	0
z_{i43}	110	0	0	0	0	0	0	0
z_{i53}	0	0	0	0	0	0	0	0
z_{i63}	0	0	0	0	0	0	0	0
z_{i73}	0	0	20	0	0	0	0	0
z_{i83}	0	0	0	20	50	0	0	0

6.2.5 Vyhodnotenie výsledku

V tabuľke 6 sú porovnané hodnoty premenných s jednotlivými kapacitami.

Tabuľka 6 - hodnoty premenných a maximálne kapacity [autor]

Časový interval i	1	2	3	4	5	6	7	8
a_i	130	20	20	20	50	40	0	90
x_i	110	0	20	20	50	0	0	0
CS_i	200	110	140	100	100	150	150	60
w_i	110	110	130	40	90	90	70	0
CN_j	3	0	2	4	4	4	1	4
y_{j1}	0	0	0	0	0	0	0	0
y_{j2}	0	0	0	0	0	0	0	0
y_{j3}	0	0	0	1	0	0	1	1

Tabuľka ukazuje, že obmedzujúce podmienky maximálnych kapacít (voľná kapacita pre naskladňovanie a_i , kapacita produkčného skladu CS_i a nakladacia kapacita CN_j) sú dodržané v každom časovom intervale. Z tabuľky sa niektoré obmedzujúce podmienky matematického modelu dajú vyčítať nasledovne:

- riadok s premennými x_i – veličina *MINIM* činí tri časové jednotky a predstavuje minimálny čas, ktorý musia výrobky stráviť v produkčnom sklade. Z toho, že je

k dispozícii osem časových intervalov, je zrejmé, že posledný časový interval, v ktorom sa vyrobené kusy môžu začať zušľachťovať v produkčnom sklade, je piaty interval. Hodnoty v intervaloch 6, 7 a 8 teda musia byť nulové,

- riadky s premennými y_{jl} – minimálny čas zušľachťovania výrobkov činí tri časové jednotky, preto sa v prvých troch časových intervaloch nemôže odviezť žiadny zušľachtený výrobok, a to znamená, že hodnoty premenných y_{jl} sú v týchto intervaloch nulové,
- riadok s premennými w_i – obmedzujúce podmienky definovali, že na začiatku a na konci časového obdobia sa počet výrobkov nachádzajúcich sa v sklade musí rovnať nule. Hodnota w_i v prvom intervale sa rovná počtu vyrobených výrobkov v tom istom intervale, takže vo fiktívnom intervale w_0 je podmienka splnená. V poslednom intervale je hodnota w_8 takisto rovná nule.

Z tabuľky taktiež možno vyčítať, že z dostupných vozidiel y_{j1} , y_{j2} a y_{j3} bolo modelom vybraté len vozidlo y_{j3} a expedícia sa uskutočnila v štvrtom, siedmom a ôsmom časovom intervale.

V tabuľke 7 sú zobrazené využitia kapacít vozidiel.

Tabuľka 7 - využitie kapacít vozidiel [autor]

Časový interval i	1	2	3	4	5	6	7	8
Využitie kapacít vozidiel	-	-	-	110/140	-	-	20/140	70/140

Z tabuľky je možné usúdiť, že využitie kapacít vozidla 3 nie je príliš vysoké (79%, 14% a 50%). Otvára sa teda otázka, či by na posledné dve expedície nebolo vhodné vybrať vozidlá s nižšími kapacitami (70 a 100).

V prípade tohoto matematického modelu s účelovou funkciou minimalizujúcou počet vozidiel je irelevantné, či bude vybraté vozidlo s kapacitou 70, 100 alebo 140, a to aj ak by sa expedované množstvo dalo naložiť do vozidla s kapacitou 70 alebo 100. Na to, aby model bral do úvahy aj kapacity vozidiel (a teda ich využitie), by sa účelová funkcia musela zmeniť tak, aby optimalizačným kritériom boli napr. náklady alebo nevyužitá kapacita vozidiel.

Matematický model s účelovou funkciou v tvare $\min f(x, y, z, w) = \sum_{j=1}^n + \text{MINIM} \sum_{l=1}^v y_{jl}$ oproti tvaru z úlohy 5.1 má možnosť vyberať z rôznych vozidiel. V modelovom príklade si model vybral vo všetkých troch prípadoch vozidlo 3, pretože:

- má najväčšiu kapacitu,
- prvá expedícia sa zrealizovala vozidlom 3 (ako jediné malo dostatočnú kapacitu) a následne už model vozidlo nemenil z dôvodu, že akýkoľvek výber vozidla ovplyvní hodnotu optimalizačného kritéria rovnako.

ZÁVER

Súčasná doba je následkami viacerých kríz pre firmy náročná. Vysoká inflácia spôsobuje značný nárast nákladov, čo môže byť pre viaceré z nich až likvidačné. Je preto vysoko žiaduce, aby sa firmy snažili svoje náklady znižovať. Jeden zo spôsobov, ako je možné náklady znižovať, je optimalizácia stavov a procesov vo firme. Optimalizácia znamená zlepšovať či zefektívňovať stávajúci stav. Ide o snahu čo najlepšie využiť dostupné prostriedky, inými slovami, nemrhať potenciálom stávajúcich prostriedkov. V logistike generujúcej náklady, ale prakticky žiadne zisky, je optimalizácia o to viac žiadaná.

Táto sčasti rešeršná bakalárska práca mala za cieľ vyhľadať a spracovať odborné články riešiace problematiku optimalizácie procesov skladovania a jednu z vyhľadaných úloh vyriešiť danou metódou na konkrétnom príklade.

Prvá kapitola bola venovaná skladovacím systémom a jeho prvkom – skladom, funkciám a druhom skladov, skladovacím technológiám a dynamickým časťami skladovacích systémov. Nevyhnutnou súčasťou charakteristiky skladovacích systémov bol aj popis riadenia zásob a popis plánovania činností v skladoch. Nasledujúca druhá kapitola na ňu tematicky nadväzovala, boli v nej podrobne predstavené skladovacie procesy, ku ktorým sa v neskoršej fáze práce viazali optimalizačné metódy.

V tretej kapitole boli uvedené vybrané priemyselné odvetvia, v rámci ktorých boli taktiež predstavené optimalizačné úlohy a metódy. Išlo o potravinárske, chemické a elektronické priemyselné odvetvie. V rámci tejto kapitoly boli tieto odvetvia medzi sebou z pohľadu skladovania aj vzájomne porovnané.

Štvrtá kapitola predstavovala úvod do optimalizácie. Čitateľ sa z tejto kapitoly mohol dozvedieť, že optimalizačný proces spočíva v minimalizovaní alebo maximalizovaní optimalizačného kritéria pri dodržaní obmedzujúcich podmienok. Kapitola taktiež opisovala rôzne optimalizačné metódy, pričom niektoré z nich boli v nasledujúcej časti práce predstavené v konkrétnej podobe na riešenie optimalizačných úloh.

Piata kapitola predstavovala hlavnú časť tejto práce. Najprv boli uvedené optimalizačné úlohy v skladovacích procesoch v rámci vybraných priemyselných odvetví, konkrétne v potravinárskom, chemickom a elektronickom odvetví. V oblasti potravinárskeho priemyslu bola riešená problematika produkčných skladov, v chemickom priemysle skladovanie nebezpečných látok a v elektronickom priemysle problematika kompletizácie objednávok. Následne boli uvedené možné optimalizačné prístupy v niektorých všeobecných skladovacích procesoch – v príjme, uskladnení, vychystávaní

a expedícií. V odvetví chemického priemyslu bolo predstavených viacero možných prístupov na riešenie – heuristické algoritmy a matematický model.

V záverečnej šiestej kapitole bolo cieľom aplikovať vybranú úlohu z predchádzajúcej kapitoly na konkrétnom príklade s interpretáciou dosiahnutých výsledkov. Ako už v tejto kapitole bolo spomenuté, bol vybraný príklad z článku, z ktorého bola problematika produkčných skladov čerpaná, avšak úloha bola modifikovaná. Spolu s modifikovaným zadaním úlohy bolo potrebné modifikovať aj matematický model, ktorý oproti originálnemu modelu riešil aj výber z rôznych typov vozidiel s rozdielnymi kapacitami.

Zmena matematického modelu bola motivovaná priblížením sa situácii z reálnej praxe. Bežne môže nastať situácia, že najmä stredné alebo väčšie firmy majú na výber z väčšieho počtu rôznych vozidiel a musia sa preto rozhodnúť, ktoré vozidlo na expedíciu použijú. Z tohoto hľadiska bol modifikovaný matematický model funkčný. Problémom pri upravenom modeli z praktického príkladu ale bolo, že model pri rozhodovaní nebral do úvahy iné faktory ako počet vozidiel. V praktickom príklade model stále vyberal len vozidlo s najväčšou kapacitou, aj keď by sa prepravovaný tovar zmestil do vozidla s nižšou kapacitou. Výsledkom preto bolo neefektívne využitie kapacity najväčšieho vozidla, kedy priemerné využitie bolo pod 50%. Z toho vyplýva, že by bolo potrebné zmeniť účelovú funkciu na takú, ktorá by uvažovala práve využitie kapacity, a to vo forme, ktorá by obsahovala napr. náklady. S využitím menšieho vozidla s menšou kapacitou by sa ušetrili pohonné hmoty, znížila by sa uhlíková stopa a navyše by vozidlo s väčšou kapacitou bolo k dispozícii, ak by nastala potreba prepraviť väčší objem tovaru.

POUŽITÉ ZDROJE

- [1] GROS, I. a kolektiv. *Velká kniha logistiky*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2016. ISBN 978-80-7080-952-5.
- [2] KARABUS, A. and M. CROZA. *Materials Management and Distribution*. The keys to the kingdom. 1995.
- [3] DANĚK, J., M. PLEVNÝ. *Výrobní a logistické systémy*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2005. ISBN 80-7043-416-3.
- [4] PARIKH, V. *Advantages and Disadvantages of Warehouses*. LetsLearnFinance. [online]. 2019. [cit. 12.4.2022]. Dostupné z: <https://www.letslearnfinance.com/advantages-and-disadvantages-of-warehouses.html>
- [5] MANI, B. *Warehouse vs Distribution Center – What's the Difference?* Supply Chain Minded. [online]. [cit. 12.4.2022]. Dostupné z: <https://supplychainminded.com/warehouse-distribution-center-whats-difference/>
- [6] JANOŠ, V. *17TEDL – Technologie dopravy a logistika: Logistické systémy a procesy*. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní. Dostupné z: <https://zolotarev.fd.cvut.cz/ma/ctrl.php?act=show,file,26194>
- [7] HROZEK, D. *Zásobníky plynu v České republice*. O energetice. [online]. 2022. [cit. 6.10.2022]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/plyn/zasobniky-plynu-v-cr>
- [8] OUDOVÁ, A. *Logistika. Základy logistiky*. Kralice na Hané: Computer Media, 2013. ISBN 978-80-7402-149-7.
- [9] *Automatický sklad drobných dílů*. Jungheinrich. [online]. [cit. 6.10.2022]. Dostupné z: <https://www.jungheinrich.cz/systemy/automaticke-skladove-systemy/automaticky-sklad-drobnych-dilu-492000>
- [10] *Konzolové regály*. DITOM Construction. [online]. [cit. 6.10.2022]. Dostupné z: <https://www.ditom.cz/konzolove-regaly.html>
- [11] JUROVÁ, M. a kolektiv. *Výrobní a logistické procesy v podnikání*. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-5717-9.
- [12] NIPEC Belfast 2009.
- [13] *Logistický reťazec*. Euroekonom.sk. [online]. 2008. [cit. 2.8.2023]. Dostupné z: <https://www.euroekonom.sk/obchod/logistika/logisticky-retazec/>
- [14] CLUETT, R. *Strategic Planning Phases Applied to Logistics*. Syncontext. [online]. 2022. [cit. 27.2.2023]. Dostupné z: <https://www.syncontext.com/strategic-planning-phases-applied-to-logistics/>

- [15] *Planning in Management: Strategic, Tactical, and Operational Plans*. Udemy. [online]. 2020. [cit. 3.5.2022]. Dostupné z: <https://blog.udemy.com/planning-in-management/>
- [16] *Strategic, Tactical, and Operational – You Need All Three!* Cultivate Rural Leaders. [online]. McCook, Nebraska. 2019. [cit. 3.5.2022]. Dostupné z: <https://www.cultivateruralleaders.com/cultivate-rural-leaders-blog/2019/11/3/strategic-tactical-and-operational-where-is-your-organization-strong-and-where-does-it-need-work>
- [17] O'BYRNE, R. *Spotlight on: 7 Key Warehouse Processes*. Logistics Bureau. [online]. 2022. [cit. 17.4.2022]. Dostupné z: <https://www.logisticsbureau.com/spotlight-on-7-key-warehouse-processes/>
- [18] *Fixed and Random Locations*. Oracle. [online]. [cit. 17.4.2022]. Dostupné z: <https://docs.oracle.com/en/applications/jd-edwards/supply-chain-manufacturing/9.2/eoawm/fixed-and-random-locations.html#u10031287>
- [19] SUNOL, H. *6 Primary Warehouse Processes & How to Optimize Them*. CYZERG Warehouse Technology. [online]. [cit. 17.4.2022]. Dostupné z: <https://articles.cyzerg.com/warehouse-processes-how-to-optimize-them>
- [20] CEMPÍREK, V. *Systémy vychystávání*. Logistika. [online]. 2012. [cit. 17.4.2022]. Dostupné z: <https://logistika.ekonom.cz/c1-54790680-systemy-vychystavani>
- [21] *Metódy riadenia toku materiálu a zásob (FIFO, LIFO a FEFO)*. GRiT. [online]. [cit. 17.4.2022]. Dostupné z: <https://sk.grit.eu/slovnicek-pojmu/metody-riadenia-toku-materialu-a-zasob-fifo-lifo-a-fefo>
- [22] *What Is a Stock Transfer, and How Do You Do It Efficiently*. Finale Inventory. [online]. 2022. [cit. 21.4.2022]. Dostupné z: <https://www.finaleinventory.com/inventory-management/what-is-a-stock-transfer-and-how-do-you-do-a-stock-transfer>
- [23] *Přeskladnění*. NETTOControl. [online]. [cit. 21.4.2022]. Dostupné z: <https://www.nettocontrol.cz/1022-preskladneni.html>
- [24] HAYES, A. *Assembly Service*. Investopedia. [online]. 2022. [cit. 22.4.2022]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/terms/a/assembly-service.asp>
- [25] *Why do we process food?* Future Learn. [online]. [cit. 28.4.2022]. Dostupné z: <https://www.futurelearn.com/info/courses/how-is-my-food-made/0/steps/63293>
- [26] *Food Processing*. John Hopkins University. [online]. [cit. 28.4.2022]. Dostupné z: <https://www.foodsystemprimer.org/food-processing/>
- [27] *What does „refined“ mean?* Nutrition Authority. [online]. [cit. 29.4.2022]. Dostupné z: <https://nutritionauthority.com/news/what-does-refined-mean/>

- [28] Čo je FERMENTÁCIA a ako prebieha? RadímeAKO. [online]. 2021. [cit. 29.4.2022]. Dostupné z: <https://radimeako.sk/co-je-fermentacia/>
- [29] Fermentované potraviny – čo to je? VitalAbo. [online]. [cit. 29.4.2022]. Dostupné z: <https://www.vitalabo.sk/info/magazin-vitalabo/fermentovane-potraviny-co-to-je>
- [30] *All about chemical industry: key segments and value chain*. Pat Research. [online]. [cit. 5.5.2022]. Dostupné z: <https://www.predictiveanalyticstoday.com/what-is-chemical-industry/>
- [31] CHOVANCOVÁ, J., P. ADAMIŠIN. *Environmentálne aspekty procesov a technológií*. Prešovská univerzita v Prešove. 2016. p. 42-43. ISBN 978-80-555-1700-1. Dostupné z: <https://www.pulib.sk/web/pdf/web/viewer.html?file=/web/kniznica/elpub/dokument/Chovancova5/subor/9788055517001.pdf>
- [32] *Storing hazardous chemicals*. Safe Work Australia. [online]. [cit. 5.5.2022]. Dostupné z: <https://www.safeworkaustralia.gov.au/safety-topic/hazards/chemicals/storing-hazardous-chemicals>
- [33] *Chemical Storage*. University of Wisconsin-Madison. [online]. [cit. 5.5.2022]. Dostupné z: <https://ehs.wisc.edu/labs-research/chemical-safety/chemical-safety-guide/chemical-storage/>
- [34] BEERS, B. *Electronics Sector*. Investopedia. [online]. 2022. [cit. 6.8.2023]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/ask/answers/042915/what-electronics-sector.asp>
- [35] *All about electronics industry: key segments, value chain, competitive advantages and functions*. Pat Research. [online]. [cit. 8.5.2022]. Dostupné z: <https://www.predictiveanalyticstoday.com/what-is-electronics-industry/>
- [36] PATEL, R. *Everything You Need to Know About Food Warehousing in 2023*. Upper Route Planner. [online]. 2022. [cit. 27.10.2022]. Dostupné z: <https://www.upperinc.com/guides/food-warehousing/>
- [37] *Chemical warehousing: challenges and success stories*. MECALUX. [online]. 2021. [cit. 27.10.2022]. Dostupné z: <https://www.mecalux.com/blog/chemical-warehousing>
- [38] *10 effective ways to store electronic devices*. Centron self storage. [online]. 2020. [cit. 27.10.2022]. Dostupné z: <https://www.centronstorage.com/10-effective-ways-store-electronic-devices/>
- [39] *Agricultural and Food Industry*. Carel. [online]. [cit. 27.10.2022]. Dostupné z: https://www.careluk.com/environment/-/journal_content/56_INSTANCE_UIkJTljut2ly/10191/24036

- [40] *Warehouse Monitoring Solutions For Chemical Storage*. Adapt Ideations. [online]. [cit. 27.10.2022]. Dostupné z: <https://www.adaptideations.com/chemical-storage-temperature-monitor>
- [41] CARTER, A. *How to Store Foods Safely in the Kitchen*. Hygiene Food Safety. [online]. 2018. [cit. 27.10.2022]. Dostupné z: <https://hygienefoodsafety.org/how-to-store-foods-safely/>
- [42] SCHMELZER, R., K. WALCH. *How to improve and optimize business processes, step by step*. [online]. 2022. [cit. 18.2.2023]. Dostupné z: <https://www.techtarget.com/searchcio/tip/How-to-improve-and-optimize-business-processes-step-by-step>
- [43] ALONSO, G., E. DEL VALLE, J.R. RAMIREZ. *5 – Optimization methods*. In Woodhead Publishing Series in Energy. *Desalination in Nuclear Power Plants*. Woodhead Publishing. 2020. p. 67-76. ISBN 9780128200216. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128200216000053>
- [44] SOHRABI, M.K., H. AZGOMI. *A Survey on the Combined Use of Optimization Methods and Game Theory*. *Archives of Computational Methods in Engineering* 27, 59–80. [online]. 2020. [cit. 11.5.2022]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11831-018-9300-5>
- [45] PECHERKOVÁ, P., Š. JOZOVÁ, I. NAGY. *Lineární programování I*. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní.. Dostupné z: <https://www.fd.cvut.cz/personal/nagyivan/LinPrg1/LP1Skripta.pdf>
- [46] *What Is Linear Programming? Definitions, Methods and Problems for Data Scientists*. Analytics Vidhya. [online]. [cit. 11.5.2022]. Dostupné z: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2017/02/introductory-guide-on-linear-programming-explained-in-simple-english/>
- [47] JANÁČEK, J. *Matematické programování*. EDIS, ŽU Žilina, 1999, 225 s.
- [48] ROTHLAUF, F. *Design of Modern Heuristics. Principles and Application*. Springer. Natural Computing Series. 2011. p. 45. ISSN 1619-7127. ISBN 978-3-540-72961-7. e-ISBN 978-3-540-72962-4. Dostupné z: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-540-72962-4.pdf>
- [49] ROTHLAUF, F. *Design of Modern Heuristics. Principles and Application*. Springer. Natural Computing Series. 2011. p. 82-83. ISSN 1619-7127. ISBN 978-3-540-72961-7. e-ISBN 978-3-540-72962-4. Dostupné z: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-540-72962-4.pdf>
- [50] BALAN, S. *Metaheuristics in Optimization: Algorithmic Perspective*. Informs. [online]. [cit. 14.5.2022]. Dostupné z: <https://www.informs.org/Publications/OR-MS-Tomorrow/Metaheuristics-in-Optimization-Algorithmic-Perspective>

- [51] PAREJO, J. A., A. RUIZ-CORTÉS, S. LOZANO, P. FERNANDEZ. *Metaheuristic optimization frameworks: a survey and benchmarking*. Soft Computing 16. p. 527-561. 2012. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00500-011-0754-8>
- [52] VOJTEKOVÁ, M., O. BLAŽEKOVÁ. *Metaheuristické metody na riešenie vybraných dopravných problémov*. FPEDAS, Žilinská univerzita v Žiline. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/econ/podzim2016/MPM_OMVE/um/35333334/Vojtekova-Blazekova.pdf
- [53] JOURDAN, L., M. BASSEUR, E.-G. TALBI. *Hybridizing exact methods and metaheuristics: A taxonomy*. European Journal of Operational Research. Volume 199, Issue 3. 2009. p. 620-629. ISSN 0377-2217. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221708003597#bib34>
- [54] WRIGHT, S.J. *Optimization*. Britannica. [online]. 2023. [cit. 16.5.2022]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/optimization>
- [55] *What's Process Optimization? Why Is It So Important for Your Business?* Sydle. [online]. 2022. [cit. 16.5.2022]. Dostupné z: <https://www.sydle.com/blog/what-is-process-optimization-6126ac39b060f57604039a57/>
- [56] DOHNAL, G. *Teorie hromadné obsluhy*. Fakulta strojní ČVUT Praha. 1997. Dostupné z: https://sms.nipax.cz/_media/tho.pdf
- [57] JABLONSKÝ, J. *Operační výzkum: Kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. Praha: Professional Publishing, 2007. ISBN 978-80-86946-44-3.
- [58] ŽIŽKA, M. *Teorie zásob*. [online]. 2013. [cit. 3.11.2022]. Dostupné z: https://elearning.tul.cz/pluginfile.php/459090/mod_resource/content/1/6-Teorie-zasob.pdf?forcedownload=1
- [59] STERLY, R. *Model teorie zásob*. RomanSterly. [online]. 2011. [cit. 3.11.2022]. Dostupné z: <http://www.romansterly.com/model-teorie-zasob/>
- [60] *Základy teórie grafov*. Žilinská univerzita v Žiline. [online]. [cit. 3.11.2022]. Dostupné z: http://fbiw.uniza.sk/ktvi/leitner/2_predmety/OA/Semester/P07_Zaklady%20teorie%20grafov.pdf
- [61] JIROVSKÝ, L. *Teorie grafů*. Teorie grafů. [online]. [cit. 3.11.2022]. Dostupné z: <https://teorie-grafu.cz/>
- [62] MOCKOVÁ, D. *17TGA – Teorie grafů a její aplikace v dopravě*. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní.
- [63] TEDA, J., Z. LEHOCKÝ. *Genetické algoritmy a jejich aplikace v praxi*. Programujte.com. [online]. 2005. ISSN 1801-1586. [cit. 5.11.2022]. Dostupné z:

- <http://programujte.com/clanek/2005072601-geneticke-algoritmy-a-jejich-aplikace-v-praxi>
- [64] MALLAWAARACHCHI, V. *Introduction to Genetic Algorithms – Including Example Code*. Towards Data Science. [online]. 2017. [cit. 5.11.2022]. Dostupné z: <https://towardsdatascience.com/introduction-to-genetic-algorithms-including-example-code-e396e98d8bf3>
- [65] ARIF, F.N., B. IRAWAN, C. SETIANINGSIH. *Optimization of Storage Allocation For Final Goods Warehouse Using Genetic Algorithm*. 2020 2nd International Conference on Electrical, Control and Instrumentation Engineering (ICECIE), Kuala Lumpur, Malaysia. 2020. p. 1-6. DOI: 10.1109/ICECIE50279.2020.9309669. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9309669>
- [66] *Genetic Algorithms – Termination Condition*. Tutorialspoint. [online]. [cit. 5.11.2022]. Dostupné z: https://www.tutorialspoint.com/genetic_algorithms/genetic_algorithms_termination_condition.htm
- [67] *Genetic algorithm*. Bionity.com. [online]. [cit. 26.3.2023]. Dostupné z: https://www.bionity.com/en/encyclopedia/Genetic_algorithm.html
- [68] TEICHMANN, D., M. DORDA, and D. MOCKOVÁ. *Model of storage and shipping synchronisation in production warehouses*. Proceedings of the 13th International Conference on Strategic Management and its Support by Information Systems. (SMSIS). Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Economics, 2019. p. 310-317. ISBN 978-80-248-4306-3. Dostupné z: <https://dokumenty.vsb.cz/docs/files/cs/791518ea-b2bf-4819-a12a-b9d3f1147602>
- [69] *Storing incompatible hazardous chemicals*. WorkSafe. [online]. 2017. [cit. 10.2.2023]. Dostupné z: <https://www.worksafe.qld.gov.au/safety-and-prevention/hazards/hazardous-chemicals/managing-hazchem-risks/managing-incompatible-goods/storing-incompatible-hazardous-chemicals>
- [70] *Segregation tool*. WorkSafe. [online]. 2018. [cit. 10.2.2023]. Dostupné z: <https://www.worksafe.qld.gov.au/safety-and-prevention/hazards/hazardous-chemicals/managing-hazchem-risks/managing-incompatible-goods/segregation-tool>
- [71] GUPTA, P., O. SIKHWAL. *A study of Vertex – Edge Coloring Techniques with Application*. International Journal Of Core Engineering & Management (IJCEM). Volume 1, Issue 2. 2014. ISSN 2348-9510. Dostupné z: <http://ijcem.in/wp-content/uploads/2014/05/A-study-of-Vertex-Edge-Coloring-Techniques-with-Application.pdf>

- [72] MALAGUTI, E., M. MONACI and P.TOTH. *An exact approach for the Vertex Coloring Problem. Discrete Optimization*. Volume 8, Issue 2. 2011. Pages 174-190. ISSN 1572-5286. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S157252861000054X>
- [73] KOSOWSKI, A., K. MANUSZEWSKI. *Classical Coloring of Graphs*. [online]. [cit. 23.2.2023]. Dostupné z: <https://umv.science.upjs.sk/madaras/ATG/coloring%20algorithms.pdf>
- [74] WETWEERAPONG, J., J. NAMOOLTREE. *Solving vertex graph coloring by heuristic methods*. Proceedings of the 20th Annual Meeting in Mathematics (AMM 2015), Silpakorn University, Nakhon Pathom, May 27-29, 2015. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/339325388_Solving_vertex_graph_coloring_by_heuristic_methods
- [75] SHARMA, P. *Welsh Powell Algorithm for graph coloring in $O(N^2)$ time*. OpenGenus IQ. [online]. [cit. 28.3.2023]. Dostupné z: <https://iq.opengenus.org/welsh-powell-algorithm/>
- [76] BOYSEN, N., K. STEPHAN, F. WEIDINGER. *Manual order consolidation with put walls: the batched order bin sequencing problem*. EURO J Transp Logist 8, 169-193 (2019). Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13676-018-0116-0>
- [77] AMBROZIAK, T., K. LEWCZUK. *A method for scheduling the goods receiving process in warehouse facilities. Total logistic management*. No. 1. Warsaw University of Technology. Warsaw. 2008. p. 7-14. Dostupné z: https://journals.bg.agh.edu.pl/TOTAL/2008/TLM_2008_01.pdf
- [78] FUMI, A., L. SCARABOTTI, M. M. SCHIRALDI. *Minimizing Warehouse Space with a Dedicated Storage Policy*. International Journal of Engineering Business Management. 2013;5. DOI:10.5772/56756. Dostupné z: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.5772/56756>
- [79] CHANG, F., Z. LIU, Z. XIN, D. LIU. *Research on Order Picking Optimization Problem of Automated Warehouse*. Systems Engineering - Theory & Practice. Volume 27, Issue 2. 2007. p. 139-143. ISSN 1874-8651. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1874865108600150>
- [80] SEDLÁČEK, M. *Optimization of Processes in a Freight Forwarding Company Using a Simulation Model*. MATEC Web Conf. 134 00050 (2017). DOI: 10.1051/mateconf/201713400050. Dostupné z: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2017/48/mateconf_logi2017_00050/mateconf_logi2017_00050.html

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1 - segregáčna tabuľka	39
Obrázok 2 - zjednodušené schéma konsolidačnej a baliacej časti skladu	43
Obrázok 3 - ukážka trasy PP pri zbere tovaru	52
Obrázok 4 - ukážka simulačného modelu	55
Obrázok 5 - počet čakajúcich nákladných vozidiel čakajúcich v rade	56
Obrázok 6 - počet čakajúcich nákladných vozidiel v rade po prvom experimente	57
Obrázok 7 - počet čakajúcich nákladných vozidiel v rade po druhom experimente	57
Obrázok 8 - prostredie optimalizačného softvéru Xpress-IVE	63

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 1 – hodnoty vstupných hodnôt p a t (príklad 1).....	48
Tabuľka 2 – hodnoty vstupných hodnôt p a t (príklad 2).....	49
Tabuľka 3 - voľná kapacita pre naskladňovanie, nakladacia kapacita a kapacita produkčného skladu	62
Tabuľka 4 - hodnoty premenných x_i , y_{jl} a w_i	65
Tabuľka 5 – hodnoty premenných z_{ij3}	66
Tabuľka 6 - hodnoty premenných a maximálne kapacity	66
Tabuľka 7 - využitie kapacít vozidiel	67