

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Stanislav Hojný

Kapacitní posouzení kontejnerového překladiště

Diplomová práce

2019



K617..... **Ústav logistiky a managementu dopravy**

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Stanislav Hojný

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – LA – Logistika a řízení dopravních procesů

Název tématu (česky): **Kapacitní posouzení kontejnerového překladiště**

Název tématu (anglicky): The assessment of the capacity of the container transit shed

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Charakteristika kontejnerového překladiště
- Analýza technologických procesů probíhajících v terminálu
- Shrnutí současného stavu a definování problému
- Teoretická východiska řešení (výběr vhodné metody)
- Návrh optimalizačního přístupu
- Výpočetní experiment
- Zhodnocení dosažených výsledků
- Doporučení pro provozovatele kontejnerového terminálu do budoucna



Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího diplomové práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Volek, J. Teorie grafů-aplikace v dopravě a veřejné správě. Univerzita Pardubice, 2012
Novák, J. a kol. Kombinovaná přeprava. Univerzita Pardubice, 2015

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Edvard Březina, CSc.**
doc. Ing. Dušan Teichmann, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: **30. června 2018**
(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 diplomové práce: **28. května 2019**
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

doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Stanislav Hojný
jméno a podpis studenta

V Praze dne 30. června 2018

Poděkování

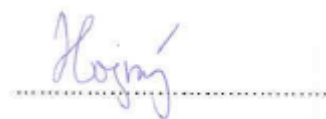
Na tomto místě bych rád poděkoval společnosti Upline CZ s.r.o., jež mi poskytla podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji Ing. Edvardu Březinovi, CSc. a doc. Ing. Dušanu Teichmannovi, Ph.D. za jejich cenné rady, trpělivost a odborné vedení mé diplomové práce. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině za bezmeznou podporu, jež mi byla poskytována po celou dobu studia.

Prohlášení

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 26. 5. 2019



Bc. Stanislav Hojný

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je návrh exaktního přístupu k uskladňování kontejnerů v kontejnerovém překladišti Obrnice. V úvodní části práce je charakterizován aktuální stav v překladišti, popsána řešená problematika a vybrána vhodná metoda k jejímu řešení. Stěžejní část práce tvoří kapitoly, ve kterých je sestaven matematický model úlohy, s nímž jsou následně prováděny experimenty. V závěru práce jsou výsledky experimentů zhodnoceny a jsou formulována doporučení pro provozovatele překladiště.

Klíčová slova

Kontejnerové překladiště, optimalizace, přiřazovací problém, kontejner, lineární programování

Abstract

The goal of this Master's thesis is to present the proposal of the exact approach to storing containers in Obrnice container transit shed. The introduction is devoted to the characteristic of the current state in the transit shed as well as the description of the solved problem and the choice of a proper method of solving it. The main section consists of chapters in which a mathematical model is designed and then used for experiments. In the final part of the thesis experimental results are evaluated and the recommendations for the operator of the transit shed are formulated.

Key words

Container transit shed, optimization, assignment problem, container, linear programming

Obsah

Úvod	4
1. Charakteristika kontejnerového překladiště.....	5
1.1 Rozdělení terminálu	6
1.2 Užívaná manipulační zařízení v terminálu Obrnice	9
1.3 Vozový park.....	11
2. Analýza technologických procesů probíhajících v terminálu	13
2.1 Příjem	13
2.2 Výdej.....	16
2.2.1 Gravitační věž	17
2.2.2 Depytlovací zařízení.....	19
3. Shrnutí současného stavu a definování problému.....	21
4. Teoretická východiska řešení (výběr vhodné metody)	28
5. Návrh optimalizačního přístupu.....	33
5.1 Matematická formulace řešené úlohy	34
5.2 Matematický model úlohy	36
5.2.1 Model úlohy v optimalizačním programu Xpress-IVE	39
6. Výpočetní experiment.....	43
6.1 První fáze modelového příkladu.....	43
6.2 Druhá fáze modelového příkladu.....	48
6.3 Třetí fáze modelového příkladu	52
7. Zhodnocení dosažených výsledků.....	56
8. Doporučení pro provozovatele kontejnerového terminálu do budoucna.....	59
Závěr.....	62
Použité zdroje.....	63

Úvod

Primárním cílem podnikání je generování zisku, což se projevuje ve snahách podnikatelů minimalizovat náklady. Jednou z oblastí, kde je možné dosáhnout při vhodném řízení znatelných úspor, je oblast skladování a s tím spojené zásoby.

Samotná zásoba je chápána jako majetková složka firmy, jež je součástí logistického řetězce. Jejími primárními úkoly jsou zajišťování plynulosti výroby a vykrývání budoucí poptávky včetně nečekaných výkyvů. Držení značného množství zásob tedy na jedné straně přispívá k větší stabilitě, avšak na straně druhé váže nemalé procento prostředků, které by bylo možné využít někde jinde a povětšinou i efektivněji.

Za účelem minimalizování zásob byly vynalezeny logistické technologie jako Just in Time či její modifikace Just in Sequence, jejichž hlavním přínosem je eliminace klasické střednědobé a dlouhodobé zásoby a ponechání pouze zásoby krátkodobé, tzv. Batche, pomocí níž firmy vykrývají krátkodobé výkyvy. Kromě značné redukce úrovně zásob dochází i ke zmenšování skladového prostoru, zlepšení kvality výrobků a zákaznického servisu a maximalizaci efektivnosti výroby. Zavedení výše zmíněných technologií může mít pozitivní efekt i na činnosti a stavy mimo samotný závod, jako jsou počty potřebných dodavatelů, kvalita dodávaného materiálu, náklady na přepravu či distribuční náklady [16].

Nesmí být však opomenuty i nemalé požadavky, které tyto technologie doprovázejí. Kromě finančního aspektu jsou zde vysoké nároky na dopravu, dodavatele, dopravní infrastrukturu a v neposlední řadě samotný výrobek. Musí být jednak zajištěno jeho pravidelné odebírání a taktéž nesmí mít finální produkt příliš dlouhé výrobní časy a mnoho variant [16].

Ne všechny firmy jsou však schopny těchto podmínek dostát, a proto se uchylují k tzv. emancipační strategii spočívající v držení určité úrovně skladových zásob. A právě zásoby těchto podniků, které k jejich uskladnění využívají kontejnerový terminál Obrnice v Severních Čechách, budou stěžejním předmětem této práce [16].

Samotná diplomová práce je rozdělena na část analytickou a praktickou. První jmenovaná se věnuje charakteristice fungování kontejnerového terminálu v Obrnicích. Mimo to jsou v ní uvedena i teoretická východiska řešení, z nichž se vychází v části praktické.

Druhá část diplomové práce poté představuje exaktní přístup k rozmisťování kontejnerů v terminálu a doporučení pro provozovatele do let budoucích.

1. Charakteristika kontejnerového překladiště

Kontejnerové překladiště, kterým se v rámci této kapitoly budu zabývat, se nachází v Severních Čechách u města Obrnice. Samotný terminál byl uveden do provozu v roce 2008. Již od svých prvopočátků je provozován jako veřejné logistické centrum v soukromém vlastnictví, což znamená, že potenciálním zákazníkem může být takřka kdokoliv, nejen smluvní partneri. Provozovatelem je společnost Upline CZ s.r.o., jež byla založena v roce 1995. Hlavní oblastí podnikání byla již od počátků firmy kombinovaná doprava (kombinovanou dopravu lze chápat jako speciální typ přepravy, během které je primárně využívána železniční či vodní doprava a doprava silniční je zde použita zpravidla pouze na první a poslední míli) a tak zvaná bulk logistika, což lze přeložit jako logistika sypkých hmot. V současnosti má firma 40 zaměstnanců a své podnikatelské aktivity zaměřuje pouze na český trh. Hlavním zákazníkem je Unipetrol a.s [1].

Pojmem překladiště/terminál se v rámci této diplomové práce bude rozumět místo na logistickém řetězci, které plní funkci překládky přepravních jednotek (takřka vždy se jedná o kontejnery) mezi dopravními prostředky různých dopravních druhů. Překládka především probíhá ve vertikálním směru prostřednictvím manipulačních zařízení, která budou blíže popsána v následující podkapitole. Kromě samotného příjmu a výdeje zásilek kombinované dopravy, kdy zásilka musí obsahovat všechny náležitosti a potřebné dokumenty, mohou překladiště poskytovat i další služby, které s kombinovanou dopravou souvisí přímo i nepřímo. Zpravidla se jedná o služby zasilatelské a skladovací [2].

Přehled doplňkových služeb, které nabízí překladiště v Obrnicích, je uveden v tabulce č. 1.

Tabulka č. 1: Přehled doplňkových služeb; zdroj: [1]

Terminál kombinované dopravy	vážení dle standardů (SOLAS, VGM) včetně obchodního vážení
	krátkodobé a dlouhodobé uskladnění jednotek kombinované dopravy
	informace o pohybech kontejnerů, druhu zboží, možnost on-line propojení se zákazníkem apod.)
Bulk	uskladnění sypkých materiálů v IBC kontejnerech
	zajištění a evidence odběru vzorků
	uskladnění balených sypkých hmot
	depytlace sypkých hmot
	plnění a vyprazdňování big bagů

Sklad	skladování zboží na volné ploše nebo krytém skladu
	evidence zboží (systémy FIFO, LIFO, podle šarže apod.)
	konsolidace zásilek, etiketování apod.
	reportování uskladněného zboží (zboží na cestě), provádění inventur apod.
Pronájem a servis přepravních jednotek kombinované dopravy	pronájem a servis manipulovatelných návěsů (plachtové a chladírenské)
	pronájem a servis 30 stopových kontejnerů
Přeprava	Zajištění přepravy v rámci České republiky tak Evropy, jak kamionová tak železniční doprava

1.1 Rozdělení terminálu

Terminál je rozdělen na 3 základní části. První z částí je na obrázku č. 1 vyznačena červenou barvou a nachází se u vjezdu do areálu. Skládá se z:

- parkoviště pro kamióny, návěsy a přívěsy,
- provizorních skladovacích ploch pro zboží na paletách,
- správní budovy s kanceláři,
- budovy příjmu, ve které se musí každý přijíždějící kamión nahlásit,
- kontrolní váhy,
- a krytého skladu [3].

Druhá a třetí část tvoří hlavní skladovací plochy, kdy první jmenovaná je (vyznačena na obrázku č. 1 modrou barvou) určena pro paletové zboží a druhá (vyznačena na obrázku č. 1 zelenou barvou) pro kontejnery [3].

V předcházejícím odstavci byly zmíněny pojmy kontejner a paleta, jež budou v rámci této práce použity ještě několikrát. Za účelem eliminace nejasností bude na následujících několika řádcích uveden jejich význam a taktéž typy, se kterými se v rámci kontejnerového překladiště pracuje.



Obrázek č. 1: Schéma kontejnerového překladiště Obrnice; zdroj: [1]

Kontejner

Kontejner je standardizovaná intermodální přepravní jednotka, která zároveň plní funkci obalu. Jeho technické charakteristiky jednak umožňují opakované užívání a zároveň stohovatelnost. Díky pevně daným rozměrům lze s kontejnery i snadno manipulovat pomocí standardizovaných zařízení, což značně usnadňuje procesy jako je překládka mezi různými druhy dopravy či uskladňování. V současné době existuje mnoho typů kontejnerů odlišujících se hlavně svými rozměry [2,4].

Mezi nejčastěji užívané patří:

- 20 stopý kontejner,
- 40 stopý kontejner,
- 40 stopý kontejner HC, kde zkratka HC indikuje vyšší výšku kontejneru (typicky 2,9 m) [4].

Grafické znázornění výše zmíněných typů kontejnerů je na obrázku č. 2.

20 ft Kontejnery



40 ft Kontejnery



Kontejnery 40HC



Typ kontejneru	20' ISO	40' ISO	40'HC ISO
Techické údaje	steel 20' × 8' × 8,6'	steel 40' × 8' × 8,6'	steel 40' × 8' × 9,6'
Vnější rozměry (d×š×v, mm)	6058 × 2438 × 2591	12192 × 2438 × 2591	12192 × 2438 × 2894
Vnitřní rozměry (d×š×v, mm)	5867 × 2330 × 2350	11980 × 2330 × 2320	11988 × 2330 × 2655
Kapacita	cca 33 m ³	cca 67 m ³	cca 70 m ³
Váha	2200 – 2500 kg	3900 – 4000 kg	4100 kg
Nosnost	21800 – 28000 kg	26000 kg	26000 kg

Obrázek č. 2: Nejběžněji užívané typy kontejnerů; zdroj: [5]

Dále pak mohou být kontejnery děleny s ohledem na jejich použití na námořní, vnitrozemské, odvalovací a letecké [2].

V rámci této diplomové práce se budu primárně zabývat třiceti stopými kontejnery speciálně upravenými pro sypké materiály. Oproti klasickým kontejnerům, je tento typ vybaven speciální vložkou, která je uvnitř kontejneru uchycena pomocí speciálních gumiček zavlečených do cca 15 háčků. Toto uchycení zajišťuje ideální rozmístění vložky v kontejneru, kdy nedochází takřka k žádnému zmenšení objemu kontejneru. Samotná vložka pak musí být kompaktní a certifikovaná. Celistvost ochranné vložky je narušena pouze na několika místech, a to na jednom z boků a v horní části vložky. Zatímco boční otvor je užíván při vyprazdňování kontejneru, tak vrchní se používají pro jeho plnění. Důvodem proč firma

využívá takto upravené kontejnery je ochrana uskladněného materiálu společnosti Unipetrol a.s – polyetylen a polypropylen – před vnějšími vlivy (prach, vlhkost). Mimo to vložka značně usnadňuje čištění kontejnerů, jelikož výše uvedené materiály jsou ve formě malých kuliček o průměru cca 3-5 mm, které by při nepoužití vložky bylo jen stěží možno odstranit ze spár kontejneru [3].

Paleta

Paletou se rozumí plochá plošina, jež je primárně užívána pro přepravu, manipulaci či skladování. Stejně jako kontejnery má definované rozměry v závislosti na jejím typu. Nejčastěji využívanou je tzv. Europaleta, jejíž rozměry jsou 120 x 80 cm x 14,4 cm a nosnost se pohybuje od 1000 kg při nerovnoměrném rozložení nákladu až po 2000 kg při celistvém nákladu zatěžujícím celou plochu palety. Kromě tohoto typu palety jsou v rámci zkoumaného kontejnerového překladiště používány i palety Petro s rozměry 110 cm x 130 cm, které používá Unipetrol. V současné době se v terminálu nachází cca 10 000 palet výhradně polypropylénu a polyetylénu. Na každé z palet je složeno 55 dvacetipětikilových pytlů (pět pytlů vodorovně a jedenáct do výšky). Občas jsou místo klasických pytlů použity big bagy, jejichž objem se pohybuje kolem 1 m³ a oproti pytlům není k jejich přemístění potřeba paleta (jsou opatřeny oky pro vidlici vysokozdvížného vozíku, viz obrázek č. 3) [3,12].

Výhodami palet je možnost jejich stohování, dokonalejší vyplnění ložných prostorů či snadná manipulace, kdy díky bočním a čelním otvorům lze uchopit paletu ze všech čtyř stran. V případě, že je na paletě naloženo zboží, jedná se o tzv. paletovou jednotku [2].



Obrázek č. 3: Velkoobjemový vak; zdroj:[6]

1.2 Užívaná manipulační zařízení v terminálu Obrnice

Reach stacker

Reach stackerem je „silniční“ vozidlo vybavené spreaderem (závěsný rám), pomocí něhož se uchopí přepravní jednotka, a to buď shora, při vertikálním uspořádání spreaderu, nebo z boku při uspořádání horizontálním [2].

V případě prvního uspořádání je vrchní spreader tvořen rámem se čtyřmi otočnými zámkami, které se při spojení s krajními prvky kontejneru otočí a tím dojde k bezpečnému spojení reach stackeru a kontejneru. Proto, aby toto spojení proběhlo co nejrychleji a nejhladčeji, disponuje většina spreadrů možností bočního posuvu, náklonu či natočení. Bezpečné uchycení kontejneru je obsluze reach stackeru sděleno světelnou signalizací. Od tohoto momentu pak může řidič s kontejnerem libovolně manipulovat. Pro větší názornost je reach stacker s vertikálním spreaderem zobrazen na obrázku č. 4 [2].



Obrázek č. 4: Reach stacker s vertikálním spreaderem; zdroj: [7]

U spreaderu horizontálního je uchopení kontejneru zajištěno prostřednictvím dvou zámků, které se spojí s horními prvky na podélné straně kontejneru, a stojek v podélné straně kontejneru, o které se opírá dolní část rámu. Tento typ je možné používat pouze pro manipulaci s prázdnými nebo maximálně 20 stopými loženými kontejnery. Pro větší názornost je reach stacker s horizontálním spreaderem zobrazen na obrázku č. 5 [2].

V případě zkoumaného překladiště se firma rozhodla pro vertikální uspořádání u všech třech vlastněných zařízení (2x Kalmar a 1x Hyster). Pro zajištění větší flexibility jsou všechny reach stackery vybaveny rámem s proměnnou délkou, kterou lze adaptivně přizpůsobit velikosti kontejneru [3].



Obrázek č. 5: Reach stacker s horizontálním spreaderem; zdroj:[2]

Čelní vysokozdvížený vozík

Vysokozdvížený vozík je silniční zařízení využívané převážně na vertikální manipulaci se zbožím/materiálem. Pohonnou jednotkou jsou nejčastěji spalovací motory nebo elektromotory, avšak existují i výjimky, kdy je k pohonu využit plyn. Právě tato možnost je využívána v terminálu Obrnice, kde jsou vysokozdvížené vozíky poháněny CNG. Co se týče způsobu, jakým dochází k manipulaci jako takové, tak zde jsou používány vidlice, které jsou vsunovány do otvorů v paletách / ok velkoobjemových vaků. Následně se hydraulicky přenese potřebná síla z motoru do zdvihacího zařízení, jež nadzvedne paletu s nákladem/ big bag do požadované výšky. Běžné vysokozdvížené vozíky mají maximální výšku zdvihu okolo 6 metrů a nosnost cca 3 tuny. Poslední fází přemístění je složení nákladu v nové výškové hladině či jeho přeprava na nové místo určení [8].

V rámci kontejnerového překladiště Obrnice jsou momentálně využívány 3 typy vysokozdvížených vozíků a to:

- vysokozdvížený vozík s dvěma dlouhými vidlemi, který je schopen přemístit zároveň dvě palety/ big bagy za sebou v ose jízdy,
- vysokozdvížený vozík se čtyřmi vidlemi, který je schopen přemístit zároveň dvě palety/ big bagy vedle sebe kolmo na osu jízdy,
- vysokozdvížený vozík se čtyřmi dlouhými vidlemi, který je schopen přemístit zároveň čtyři palety/ big bagy v rozložení 2x2 palety [3].

Boční silniční překladač

Boční silniční překladač je manipulační zařízení sloužící k nakládce a překládce přepravních jednotek. V závislosti na použitém zdvihacím zařízení, jež může být poháněno buďto z motoru tahače nebo z přídatného agregátu, je umožněna jednostranná nebo oboustranná manipulace s nákladem. Pro potřeby kombinované dopravy je výhodnější oboustranná

varianta, umožňující plynulý pohyb z jedné strany na druhou. K uchycení kontejneru je využit spreader s otočnými trny, které se zaklíní do horních rohových prvků kontejneru (obdobný princip jako u reach stackeru s vertikálním spreaderem). Celé překládací zařízení pak je upevněno na návěs, jehož stabilita je během překládky zajištěna hydraulickými opěrami. Tento typ zařízení se využívá v překladištích s menším počtem manipulací, a to z důvodu delších časové náročnosti (jedna manipulace trvá cca 5 minut). Proto v terminálech jako Obrnice, kde se každodenní počet manipulací pohybuje v řádech stovek, jsou boční silniční překladače používány jako dopravní prostředky, které u zákazníka nemusí čekat na vyprázdnění/naplnění kontejneru, ale pouze složí požadovaný kontejner a případně naloží kontejner mířící do překladiště [2].

1.3 Vozový park

Současná flotila čítá přibližně 160 tahačů značky Mercedes, které jsou všechny v soukromém vlastnictví. Kromě jejich pronájmu dalším subjektům, je firma Upline CZ s.r.o., používá k zajištění objednané přepravy. Většinou objednatel žádá návěsovou soupravu, čímž se rozumí tahač a návěs, ve kterém je složeno přepravované zboží. V některých případech objednatel požaduje pouze tahač bez návěsu. K tomu dochází v případech, kdy objednatel potřebuje pouze dopravní prostředek k tažení vlastního návěsu. Z tohoto důvodu firma vlastní pouze 120 návěsů. Samotný výraz návěs je definován jako přípojné vozidlo bez vlastního pohonu, jehož váha je částečně přenášena na tahač [17]. Na celém světě existuje nepřeberné množství typů návěsů, avšak v rámci této podkapitoly budou uvedeny pouze ty, které jsou užívány v terminálu Obrnice [2,3].

Plachtový návěs

Tento typ návěsu se často označuje jako Tautliner a je specifický tím, že místo pevných bočnic jsou použity posuvné plachty, jež mohou být dle potřeby vytaženy. Takováto konstrukce umožňuje snazší nakládku a vykládku zejména neskladného zboží. Během přepravy jsou pak plachty upevněny pomocí popruhů, což zabrání ztrátě nákladu a vlnění plachet [9].

Návěs skříňově izotermický

Izotermické skříňe zabraňují výměně tepla mezi vnějším prostředím a vnitřkem skříňe, kde je uskladněno přepravované zboží.

Dle dohody ATP, jež se týká mezinárodní přepravy zkazitelných potravin, lze tyto skříňe rozdělit na:

- izotermické skříňe se součinitelem prostupu tepla menším než $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, které se smějí používat pouze pro přepravu chlazených potravin

- a izotermické skříně se zesílenou tepelnou izolací a součinitelem prostupu tepla menším než $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, které po přidání chladícího zařízení se smějí používat i pro přepravu mraženého zboží [10].

V případě firmy Upline CZ s.r.o., je využíván pouze první ze zmíněných typů.

Kontejnerový návěs

Kontejnerový návěs je specifický hlavně svojí konstrukcí, která je rámová a v rohových částech je opatřena pevnými nebo otočnými prvky (trny) sloužícími k upevnění kontejneru. Klasicky se vyrábí ve dvou základních variantách, a to pro 20 stopé a 40 stopé kontejnery. V případě potřeby přepravy kontejnerů větších rozměru, nejčastěji 45 stopých kontejnerů, disponují návěsy mechanickým či pneumatickým prodloužením zadní části s trny. Mimo přepravu kontejnerů může být tento typ návěsu použit i k přepravě vyměnitelných nástaveb, k čemuž dochází i v rámci popisovaného překladiště [2].

Valník pro převoz technických plynů

Tento typ návěsu je speciálně upraven, aby odpovídal evropské dohodě o mezinárodní silniční přepravě nebezpečných věcí, což v realitě znamená například to, že prostoru pro přepravu lahví je vybaven pevnou přepážkou chránící řidiče v případě vzniku komplikací. Při přepravě samotné, musí být zajištěna ochrana lahví před působením slunečního záření, všechny ventily lahví musejí být uzavřeny a opatřeny bezpečnostními kloboučky, všechny lahve musí být zajištěny proti samovolnému pohybu, návěs musí být označen dle charakteru přepravovaného zboží a vozidlo nesmí být ponecháno bez dozoru na veřejně přístupných místech [11].

2. Analýza technologických procesů probíhajících v terminálu

Hlavní náplní této kapitoly je definování postupu během příjmu a výdeje materiálu. V jednotlivých fázích příjmového/ výdejního procesu jsou uváděny využívané technologie včetně jejich popisu. S ohledem k problematice řešené v dalších kapitolách jsou uváděny pouze procesy týkající se kontejnerů a palet. Vzhledem ke skutečnosti, že majoritním zákazníkem je společnost Unipetrol a.s., tak se v následujících podkapitolách vychází z provozu typického s touto firmou [3].

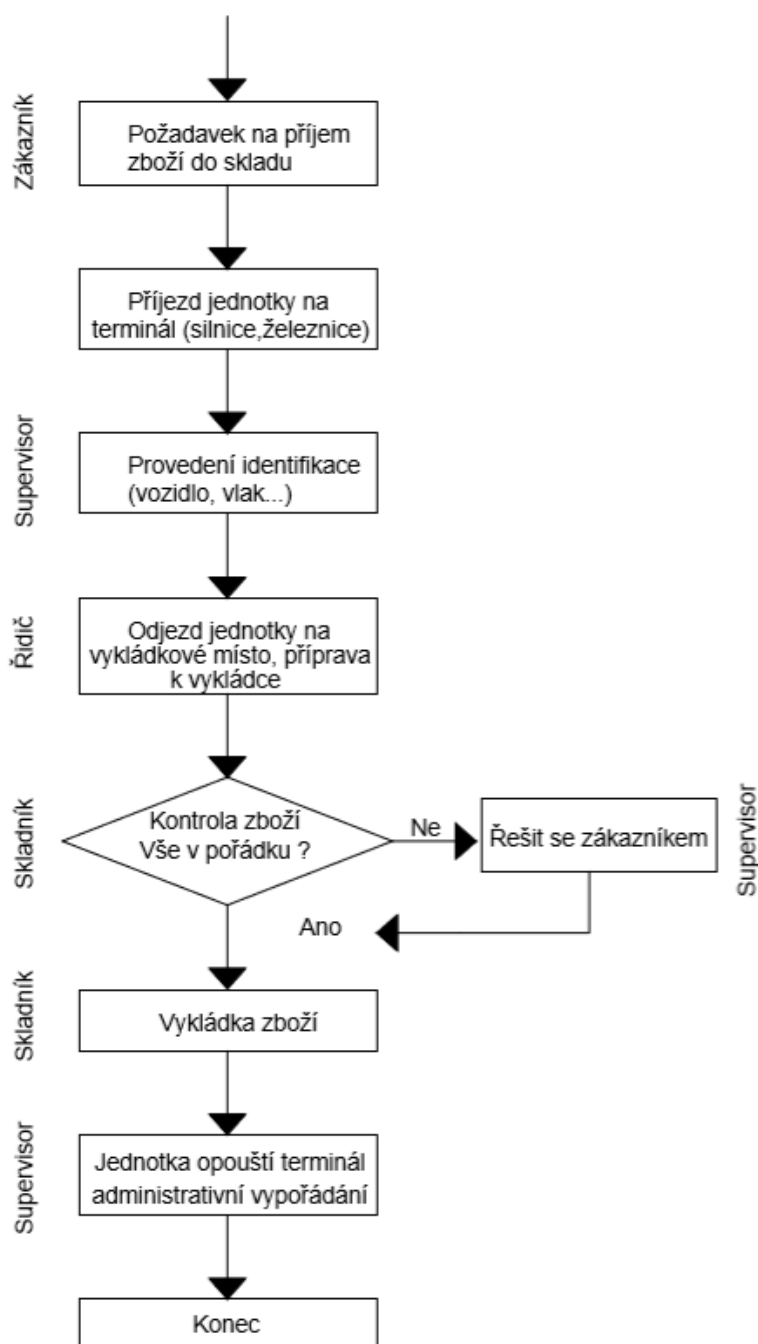
2.1 Příjem

Prvním impulzem je potřeba zákazníka uskladnit svůj materiál/ zboží na dobu určitou mimo závod. Výsledkem tohoto požadavku je vytvoření objednávky, kterou zákazník zadá do svého systému. Následuje automatický přenos objednávky do systému kontejnerového překladiště Obrnice, kde se na základě této objednávky spustí následující sekvence procesů:

- 1) Vygeneruje se zadání pro skladníka obsluhujícího čelní překladač (reach stacker s vertikálním uspořádáním spreaderu). Úkol spočívá v naložení definovaného prázdného kontejneru na zvolený návěs.
- 2) Řidič zkontroluje usazení kontejneru a přejeде s návěsnou soupravou na váhu, která je zobrazena na obrázku č. 6. Zde se zváží celá souprava (tahač, návěs a kontejner) a získaná hodnota se zanesе do systému.
- 3) Odjezd řidiče k zákazníkovi. Po příjezdu k zákazníkovi se celá souprava opět zváží.
- 4) Následuje naplnění kontejneru materiálem.
- 5) Před odjezdem soupravy z areálu firmy dojde opět k převážení návěsné soupravy. Na základě získaných výsledků se vytvoří průvodní dokumenty, jejichž součástí je i váženka, tj. váha přepravovaného materiálu.
- 6) Odjezd do terminálu Obrnice.
- 7) Po příjezdu do terminálu řidič předává průvodní doklady v budově příjmu a celá souprava je opět zvážena.
- 8) Výsledná váha (rozdíl mezi hmotností návěsné soupravy při odjezdu z a po příjezdu do terminálu) se zkontroluje s údaji z váženky a zanesе se spolu s ostatními údaji do systému.
- 9) Kontrola zboží – je-li vše v pořádku tak následuje bod 10);v opačném případě se kontaktuje zákazník, s nímž je nastalá situace řešena.
- 10) Vytvoří se úloha pro obsluhu čelního překladače na uskladnění kontejneru. Skladník dostane přesné instrukce, kde má být kontejner v kontejnerovém překladišti složen.

11) Uskladnění kontejneru. Technologie využívaná při manipulaci s kontejnery je popsána v podkapitole 1. 2. [3]

V případě palet je sekvence procesů během příjmu obdobná jako u kontejnerů (viz obrázek 7), pouze se místo výměnných nástaveb využívají plachtové návěsy (obrázek č. 8). Mimo silniční dopravu se pro přepravu palet do terminálu využívá i doprava železniční. V tomto případě jsou palety do terminálu přepravovány v krytých vozech (obrázek č. 9). K manipulaci s paletovými jednotkami není využíván čelní překladač, nýbrž vysokozdvizný vozík [3].



Obrázek č. 7: Schéma procesů během příjmu paletového zboží; zdroj: [3]



Obrázek č. 6: Kontrolní váha v terminálu Obrnice; zdroj: [autor]



Obrázek č. 9: Přeprava paletového zboží do terminálu Obrnice; zdroj: [autor]



Obrázek č. 8: Přeprava palet polyetylenu a polypropylenu v plachtovém návěsu; zdroj: [autor]

2.2 Výdej

Stejně jako u příjmu je sekvence procesů, jejichž výsledkem je výdej uskladněného zboží/materiálu, odstartována požadavkem zákazníka na vyskladnění zboží/materiálu. V případě kontejnerového překladiště Obrnice má toto vyskladnění podobu naplnění autocisterny uskladněným materiálem (polyetylen či polypropylen). V okamžiku uplatnění tohoto požadavku zákazníkem následuje níže popsaná sekvence procesů:

- 1) Oddělení administrativy zanesse tento požadavek do systému.
- 2) Na základě principu FIFO se vybere příslušný kontejner s odpovídajícím materiálem.
- 3) Vygeneruje se zadání pro skladníka obsluhujícího čelní překladač (reach stacker s vertikálním uspořádáním spreaderu). Úkol spočívá v převozu daného kontejneru na gravitační věž.
- 4) V okamžiku, kdy je kontejner usazen na gravitační věži, vytvoří se zadání pro operátora gravitační věže – kontrola autocisterny, tj. její čistota a zda má všechny požadované náležitosti.
- 5) V případě, že je vše v pořádku, dojde k naplnění autocisterny materiálem gravitačním přesypáním.
- 6) Po přesypání materiálu z kontejneru se vytvoří další úloha pro skladníka spočívající v přemístění vyprázdněného kontejneru z gravitační věže na čistící místo.
- 7) V okamžiku složení kontejneru v místě čištění se vytvoří úloha vyčištění kontejneru, což obstarávají pracovníci na ploše. Samotné čištění kontejneru se skládá ze tří kroků. V prvních dvou se vyjme separační vložka a vymetou se zbytky materiálu z kontejneru. V kroku třetí, se opětovně navěsí separační vložka do kontejneru. Od tohoto okamžiku je kontejner opět připraven na naplnění.
- 8) Posledním krokem je uskladnění prázdného čistého kontejneru v rámci terminálu.

[3]

V 5 až 10 procentech všech případů není přesyp materiálu prováděn v rámci terminálu, ale přímo u zákazníka. Rozdíl oproti výše uvedené sekvenci procesů spočívá v tom, že kontejner není přemístěn na gravitační věž, nýbrž je naložen na kontejnerové šasi a převezen do zákaznickova závodu. Tam je pomocí speciálního kompresoru materiál „přefoukán“ do sila nebo připravené autocisterny viz obrázek č. 10. Následuje cesta zpátky do terminálu a proces čištění a uskladnění [3].



Obrázek č. 10: Horizontální překládka; zdroj: [3]

V současné době má proces výdeje podobu přesypávání uskladněného materiálu do silničních dopravních prostředků, a to i v případě materiálu loženého na paletách. Zde se, oproti kontejnerům, nepoužívají pro potřeby manipulace boční překladač ale vysokozdvižné vozíky. Samotný proces přesypání poté neprobíhá na gravitační věži nýbrž v tzv. depytlovacím zařízení, které bude popsáno v podkapitole 2.2.2 [3].

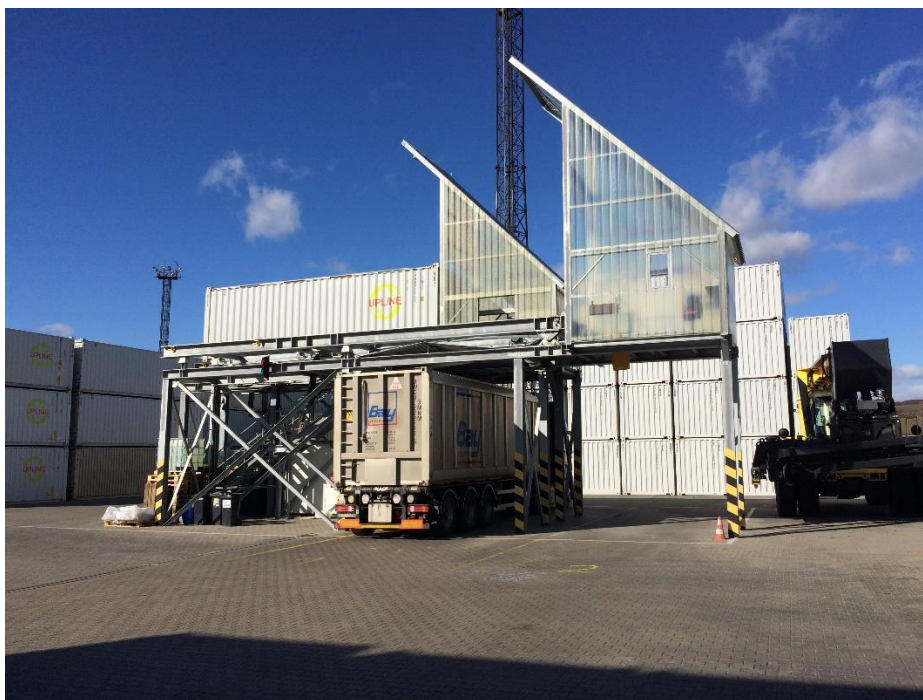
2.2.1 Gravitační věž

Gravitaci lze chápat jako vzájemné silové působení mezi hmotnými tělesy, jehož velikost lze vypočítat z Newtonova gravitačního zákona. Vektorovým součinem gravitační síly a síly odstředivé (dána rotací planety Země) dostaneme sílu tíhovou, která na každé těleso na planetě Zemi působí přitažlivou silou $F_g = m * g$, kde m je hmotnost tělesa a g gravitační zrychlení. A právě skutečnosti, že předměty do určité vzdálenosti od planety Země jsou přitahovány k jejímu povrchu, využívá gravitační věž [13].

Samotný princip fungování gravitační věže se skládá ze šesti kroků, a to:

- 1) Umístění a zajištění loženého kontejneru na gravitační věži viz. obrázek č. 11.
- 2) Otevření boční strany kontejneru, u které je v separační vložce otvor určený k vyprázdnění kontejneru.
- 3) Připojení vložky na zařízení regulující průtok materiálu.
- 4) Naklonění kontejneru pomocí hydrauliky viz. obrázek č. 12, což zapříčiní samovolný přesyp materiálu z kontejneru do autocisterny stojící pod gravitační věží.

- 5) V okamžiku naplnění autocisterny obsluha gravitační věže mechanicky uzavře průtokový kohout. Sypací otvory v autocisterně se neprodyšně uzavřou a souprava uvolní prostor pod věží pro další autocisternu.
- 6) V okamžiku, kdy dojde k vyprázdnění kontejneru, se nakloněný kontejner spustí do vodorovné polohy a skladník jej pomocí reacher stackeru uskladní na plochu čištění a následně k ostatním prázdným kontejnerům. [3]



Obrázek č. 11: Kontejner na gravitační věži čekající na vyprázdnění; zdroj: [autor]



Obrázek č. 12: Přesypávání materiálu z kontejneru do autocisterny; zdroj: [autor]

V současné době se v terminálu nacházejí dvě gravitační věže. První z nich je používána na vyprazdňování pouze třiceti stopých kontejnerů. Druhá dokáže pracovat se všemi kontejnery s délkou od dvaceti až po čtyřicet pět stop [3].

Tato technologie je velmi výhodná zejména z pohledu spotřeby energie, kdy jedinou energeticky náročnou fází je naklonění kontejneru. Ostatní buďto využívají tíhové síly nebo lidské práce.

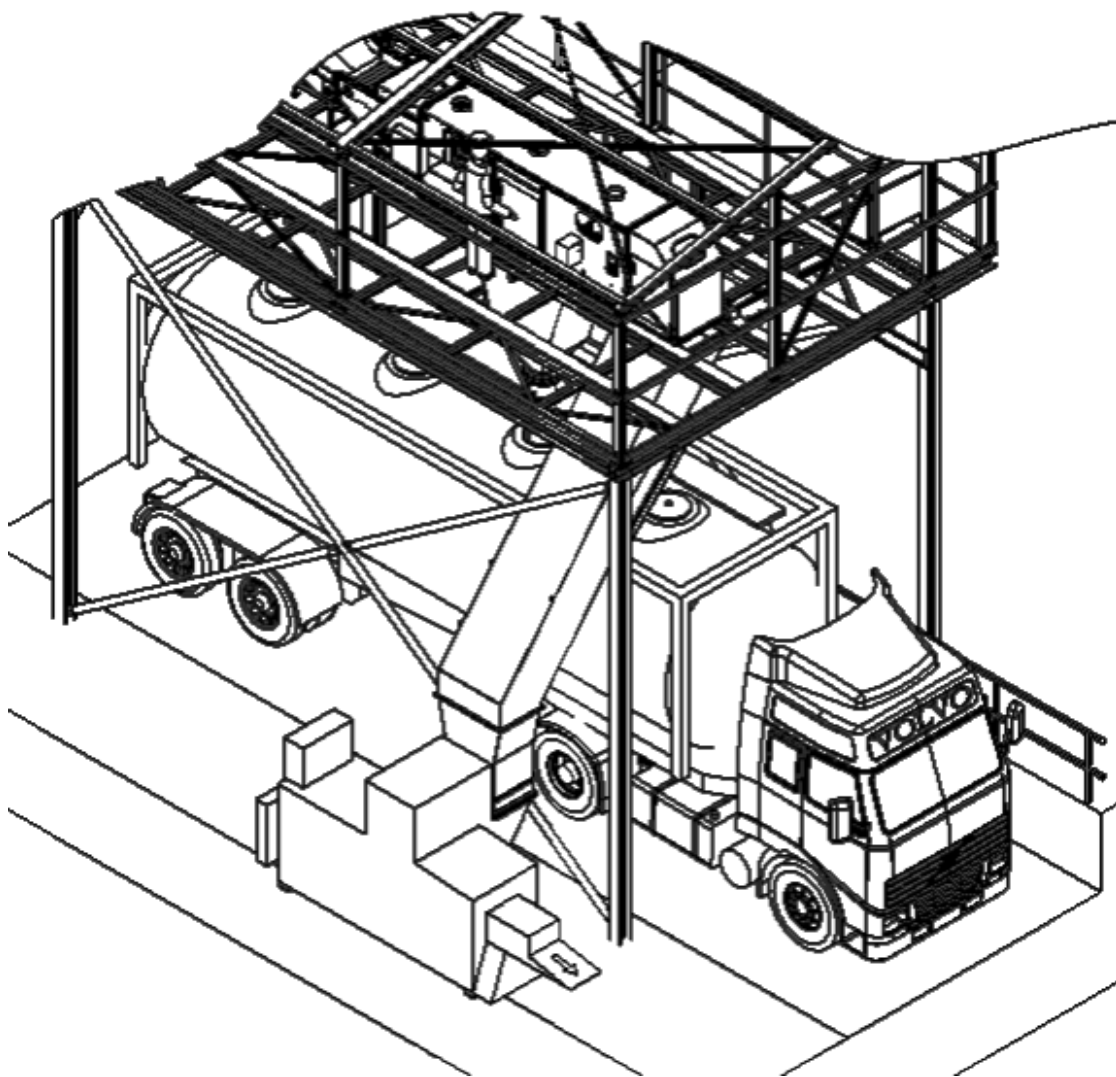
2.2.2 Depytlovací zařízení

Depytlovací zařízení umožňuje přesyp materiálu, uskladněného v pytlech na paletách, do autocisteren. Zde je také využívána tíhová síla, avšak princip fungování je od předešlé technologie odlišný [3].

Depytlovací zařízení musí být umístěno dostatečně vysoko, aby pod něj mohla vjet autocisterna, do níž bude materiál přesypáván. Jelikož se jedná o výšku přibližně čtyři metry, je pro potřebu přepravy pytlů, ložených na paletách, do depytlovacího zařízení využíván dopravníkový pás. V současné době jsou pytle na pás dávány ručně, avšak do budoucna se počítá s automatizovaným provozem. Míra automatizace by měla být taková, že zařízení stojící vedle dopravníkového pásu samo uchopí celou paletovou jednotku, ze které odstraní ochranný obal a začne pytle s materiálem pokládat na pás ve stanoveném intervalu [3].

Samotný proces přesypu materiálu začíná v okamžiku, kdy je pytel přepraven po dopravníkovém pásu na začátek depytlovacího zařízení. Nejprve se do okrajů pytle zaseknou z obou stran hroty, jež jsou umístěny na horní části dopravního řetězu. Ten prochází skrz celé zařízení. Tím jak se ozubená kola, na nichž jsou řetězy usazeny, otáčejí, dává se do pohybu i pytel s materiálem. Přibližně v polovině cesty je mezi řetězy umístěn pilový kotouč, který pytel rozřízne ve spodní části. V tom okamžiku se začne materiál z pytle přesypávat skrz trychtýř do autocisterny stojící pod depytlovacím zařízením. Časová náročnost vyprázdnění jednoho pytle je přibližně tři vteřiny. Proto, aby nebylo do autocisterny přesypáno příliš mnoho materiálu, je ve spodní části trychtýře rotující vrtulka. V okamžiku, kdy je objem aktuálně plněné přepravní komory autocisterny vyčerpán, se vrtulka přestane otáčet z důvodu jejího zasypání materiálem. Následkem toho dojde k uzavření trychtýře, čímž je zastaven i přesyp materiálu. Trychtýř se dosypá na určitou úroveň, aby při dalším plnění autocisterny nedocházelo k zbytečným prostojům. Následně se zastaví i dopravníkový pás s pytlí. Jakmile se autocisterna posune tak, aby bylo možné plnit další prázdnou přepravní komoru, otevře se již před-naplněný trychtýř a celý proces se opakuje. Obaly z rozříznutých pytlů jsou šachtou v zadní části depytlovacího zařízení dopraveny do lisu. Všechny procesy v tomto zařízení probíhají automaticky. Lidská obsluha zde plní pouze roli

kontroly. V případě poruchy může celé zařízení odstavit. Schéma zařízení je na obrázku č. 13 [3].



Obrázek č. 13: Schéma depytlovacího zařízení; zdroj: [3]

3. Shrnutí současného stavu a definování problému

Podnikatelské aktivity společnosti Upline CZ s.r.o. byly popsány již v první kapitole této diplomové práce. Jednou z uvedených oblastí podnikání bylo i skladování kontejnerů a paletových jednotek, a právě tato část podnikatelské činnosti je pro potřeby praktické části práce stěžejní.

Kontejnery

V současné době je v terminálu Obrnice uskladněno přibližně 750 ložených a cca 150 prázdných kontejnerů. Všechny kontejnery vlastní společnost Upline CZ s.r.o., i když některé z nich jsou označeny logem předchozích majitelů. Jedná se především o 30 stopé kontejnery uzpůsobené k přepravě/skladování sypkých materiálů (podrobnější popis viz. podkapitola č. 1.1), které lze stohovat maximálně do šesté úrovně. V reálném provozu se však stohuje pouze do čtvrté úrovně. Toto omezení vyplývá z používaných pravidel zavětrování v rámci kontejnerového překladiště. Dodržováním těchto pravidel se zabraňuje takovému uskladnění kontejnerů, při kterém by mohly kontejnery při bočním větru spadnout [3].

Počet ložených kontejnerů, které se během jednoho dne do kontejnerového překladiště zavezou, se pohybuje v rozmezí 10-30 kusů. Tento rozptyl je zapříčiněn nekonzistencí výrobního procesu společnosti Unipetrol a.s. Přibližně stejných denních objemů je dosahováno i u vyskladněných kontejnerů, kde je disperze způsobena nepravidelností poptávky [3].

Časová náročnost manipulace s kontejnerem se odvíjí od vzdálenosti mezi místem uskladnění kontejneru a místem začátku závozu/ vykládky (gravitační věží). Běžně se tato doba pohybuje v intervalu 2 až 7 minut. Samotné uložení/vyzvednutí kontejneru trvá skladníkovi v reacher stackeru maximálně jednu minutu [3].

O každém loženém uskladněném kontejneru se evidují následující údaje:

- vlastník,
- velikost a typ kontejneru,
- čárové kód kontejneru,
- provedená operace,
- zákazník,
- datum uskladnění,
- typ a kvalita materiálu – šarže.

Uskladňovaný materiál (především polyetylen a polypropylen) může být do terminálu dodáván až v 55 různých šaržích. Pro potřeby této práce byl tento počet šarží snížen na 5, kdy údajem, dle kterého byly šarže shlukovány, byla průměrná doba uskladnění, jež kontejner ložený danou šarží stráví v terminálu [3].

Výsledné rozdělení je následující:

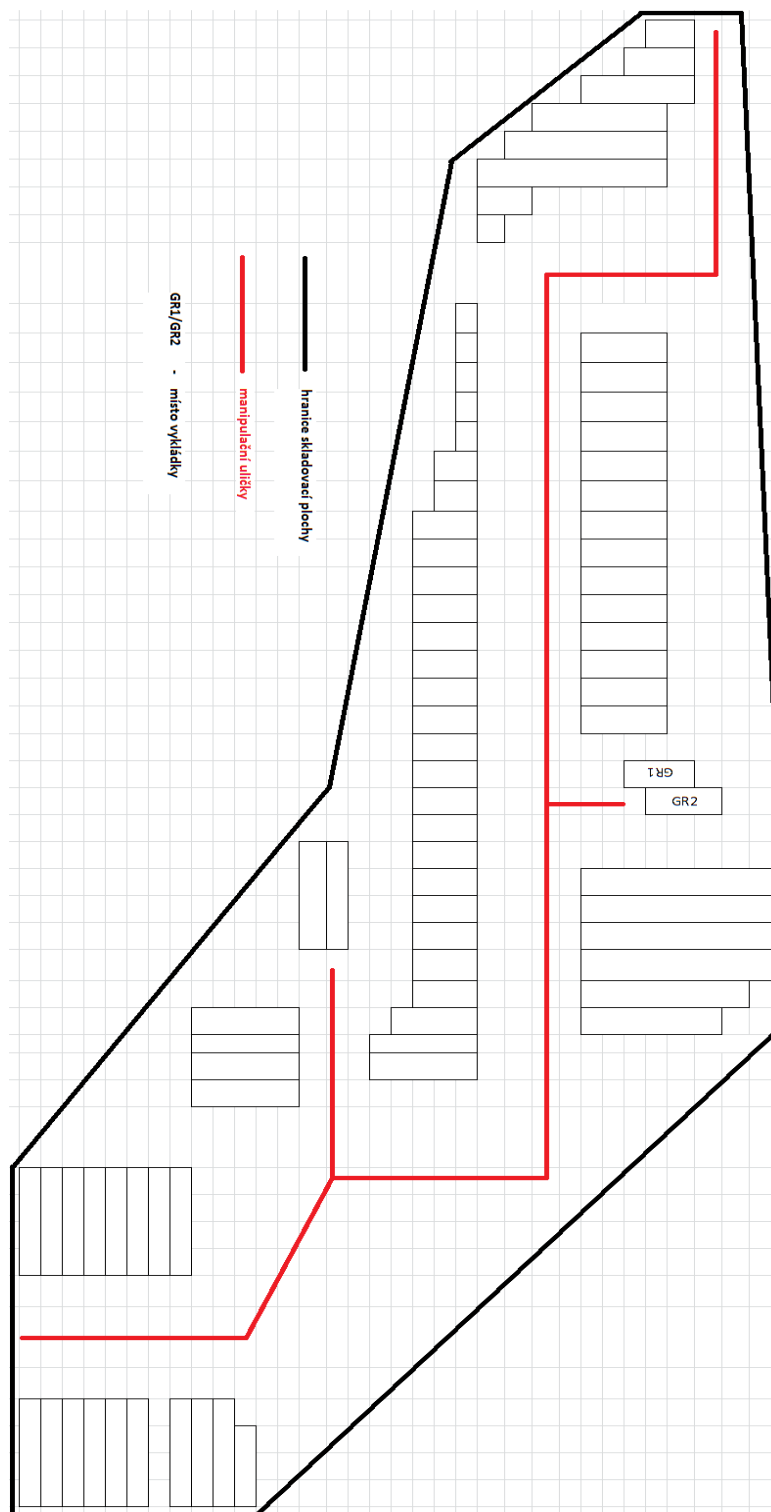
- šarže 1 - doba uskladnění kontejneru se pohybuje v rozmezí $(0, 16)$ dnů ode dne závozu
- šarže 2 - doba uskladnění kontejneru se pohybuje v rozmezí $(16, 31)$ dnů ode dne závozu
- šarže 3 - doba uskladnění kontejneru se pohybuje v rozmezí $(31, 46)$ dnů ode dne závozu
- šarže 4 - doba uskladnění kontejneru se pohybuje v rozmezí $(46, 67)$ dnů ode dne závozu
- šarže 5 - doba uskladnění kontejneru se pohybuje v rozmezí $(67, \infty)$ dnů ode dne závozu

Tabulka č. 2: Grafické znázornění rozdělení šarží materiálu; zdroj: [3]

Materiál	Průměrná doba	Materiál	Průměrná doba			
YY500	0,9	MA230	39,4			
BL75	6,6	FL20	40,0			šarže 1
BB29	7,9	NB112	40,0			šarže 2
ZNC125	9,1	MB68	41,2			šarže 3
YY400	9,7	NB425	41,5			šarže 4
TB38	13,2	GH001	42,3			šarže 5
BB29H	15,6	MT950	42,4			
NB108	16,1	FC108	42,7			
NB218	17,5	MA524	43,2			
GB218	18,1	BB85	43,5			
FT005	18,5	MB71	44,7			
FB85	20,5	ML67	45,7			
MA350	22,3	MS57	45,9			
FC110	22,5	ML57	46,0			
GB107	22,8	EH100	46,2			
TB002	23,2	MA745	47,6			
GB005	24,8	RL58	48,3			
TB003	26,0	LS87	50,0			
FB20	26,2	EB501	50,4			
FB75	27,9	BB75	53,1			
BB38S	30,2	RL58UV	55,9			
GB504	31,8	MB87	57,2			
EH501	34,0	VB85	66,5			
GH201	35,0	FB85F	68,4			
MT935	35,5	GH300	71,7			
VB33	35,7	MA612	79,2			
ML71	37,0	MA712	128,0			
GB506	39,2					

V současnosti je celková skladovací plocha pro kontejnery cca 45 000 m². Do této hodnoty nejsou započítány plochy určené k čištění kontejnerů a manipulační uličky, kde mohou být kontejnery složeny pouze dočasně. Aktuální schéma skladovací plochy je znázorněno na obrázku č. 14 [3].

K přepravě kontejnerů je prozatím využívána pouze silniční doprava [3].



Obrázek č. 14: Schéma skladovací plochy pro kontejnery; zdroj: [autor]

Palety

Momentálně je v terminálu složeno přibližně 10 000 paletových jednotek. Výška stohování je dána typem zboží, jež je na paletě uskladněno. Jestliže se jedná o polyetylen, polypropylen či neperlivé vody, pak je dovoleno stohovat dvě palety na sebe. V případě, kdy je na paletě perlivá voda, tak zde je stohování povoleno až do tří vrstev, a to z toho důvodu, že PET láhve sycené plynem jsou natlakované a váhou další palety se nezdeformují. Specifikem palet s vodami je povinnost jejich skladování v krytém skladu z důvodu zamezení teplotních výkyvů a poškození paletových štítků s čárovými kódy [3].

Přeprava paletových jednotek do terminálu je primárně zajišťována železniční dopravou. Každý všední den přijíždí z Unipetrolu a.s. lokomotiva se šesti krytými vozy, kdy v každém z nich je přepravováno 38 paletových jednotek. V terminálu se tyto vozy odstaví na vedlejší kolej a za lokomotivu se připojí šest prázdných vozů, ve kterých byly paletové jednotky dopraveny předešlý den. Z tohoto principu fungování vyplývá, že vykládka paletových jednotek musí proběhnout během 24 hodin od okamžiku převzetí [3].

Cílem společnosti Upline CZ s.r.o. je nahrazení výše uvedeného typu železničních vozů, vozy, jež by umožňovaly přepravu kontejnerů. Místo šesti vozů by pak jezdilo vozů pouze pět a na každém z nich by byly přepravovány dva kontejnery. Jednalo by se o kontejnery s otevíráním z boku, kterých momentálně společnosti Upline CZ s.r.o. vlastní 8 ze 40 plánovaných [3].

Druhým způsobem, jakým jsou paletové jednotky do terminálu přepravovány, je silniční doprava. Tato možnost je však čím dál tím méně využívána z důvodu nižší kapacity dopravních prostředků. Přistupuje se k ní zpravidla pouze tehdy, kdy je potřeba vytížit prázdnou návěsnou soupravu jedoucí od zákazníka [3].

V současné době se do závodu přiveze cca 1200 paletových jednotek týdně. Oproti tomu se týdně vyskladněné objemy pohybují pouze v jednotkách desítek maximálně stovek. Logickým vyústěním takovéto situace je rychle se zmenšující kapacita ploch určených k uskladnění paletových jednotek. Současná výměra skladovacích plochy pro paletové jednotky je cca 25 000 m^2 [3].

Provozní doba terminálu je pondělí až pátek od 6 do 22 hodin.

Definování problému

Místo, kde bude daný kontejner v rámci terminálu uskladněn, vybírá operátor na základě svých zkušeností. Snaží se najít volný blok, kde je možné složit co nejvíce kontejnerů s materiálem stejné šarže. Manipulační práce, jejichž velikost je přímo závislá na vzdálenosti

vybraného bloku od místa začátku závozu/ vykládky, je řešena až druhořadně. Tímto přístupem je sice zajištěna jistá integrita kontejnerů ložených shodným materiálem, avšak pouze za cenu nárůstu manipulačních prací. Dále je potřeba ještě dodat, že šarže materiálu loženého v uskladňovaném kontejneru nemá momentálně na výběr místa žádný vliv. Výsledkem nezahrnutí tohoto parametru do rozhodovacího procesu pak může být další nárůst manipulačních prací, což bude demonstrováno na následujícím příkladu.

Během 59 dnů jsou do terminálu zaváženy kontejnery s materiálem šarže 1 (doba uskladnění v rozmezí 0-16 dnů ode dne závozu) a šarže 4 (doba uskladnění v rozmezí 41-59 dnů ode dne závozu). Frekvence, s jakou dochází k závozu, je následující:

- šarže 1–2 kontejnery každých 20 dnů
- šarže 5–1 kontejner každých 60 dnů

Kontejnery je možno složit na tři místa – A, B, C – jejichž vzdálenosti od místa začátku závozu/ vykládky jsou 1, 2 a 3 metry.

Manipulační práce je rovna ujeté vzdálenosti během uskladňování/ vyskladňování kontejnerů.

V případě, že budeme kontejnery uskladňovat bez ohledu na šarže materiálů v nich ložených (=průměrnou dobu uskladnění), může být výsledný způsob uskladňování kontejnerů během zkoumaného období následující:

Den 1–1. závoz

- kontejnery šarže 1 jsou složeny na místech B a C
- kontejner šarže 5 je složen na místě A

Celková manipulační práce:

$$Mp = 1 + 2 + 3 = 6$$

Období mezi 1. – 16. dnem – vyskladnění kontejnerů s materiálem šarže 1

Celková manipulační práce:

$$Mp = 2 + 3 = 5$$

Den 20. – 2. závoz

- kontejnery šarže 1 jsou složeny na místech B a C

Celková manipulační práce:

$$Mp = 2 + 3 = 5$$

Období mezi 20. – 36. Dnem – vyskladnění kontejnerů s materiálem šarže 1

Celková manipulační práce:

$$Mp = 2 + 3 = 5$$

Den 40. – 3. závoz

- kontejnery šarže 1 jsou složeny na místech B a C

Celková manipulační práce:

$$Mp = 2 + 3 = 5$$

Období mezi 40. – 59. Dnem – vyskladnění kontejnerů s materiálem šarže 1 i 4

Celková manipulační práce:

$$Mp = 1 + 2 + 3 = 6$$

Celková manipulační práce za sledované období:

$$Mp = 6 + 5 + 5 + 5 + 5 + 6 = 38$$

V případě, že během rozhodovacího procesu budou brány šarže materiálů ložených v kontejnerech v potaz, tj. na nejperspektivnější místa z pohledu hodnoty manipulační práce (místa nejbližší místu začátku závozu/ vyskladnění) budou uskladňovány kontejnery s co nejnižší šarží (krátkou dobou uskladnění), bude výsledný způsob uskladňování kontejnerů během sledovaného období následující:

Den 1–1. závoz

- kontejnery šarže 1 jsou složeny na místech A a B
- kontejner šarže 5 je složen na místě C

Celková manipulační práce:

$$Mp = 1 + 2 + 3 = 6$$

Období mezi 1. – 16. dnem – vyskladnění kontejnerů s materiálem šarže 1

Celková manipulační práce:

$$Mp = 1 + 2 = 3$$

Den 20. – 2. závoz

- kontejnery šarže 1 jsou složeny na místech A a B

Celková manipulační práce:

$$Mp = 1 + 2 = 3$$

Období mezi 20. – 36. Dnem – vyskladnění kontejnerů s materiálem šarže 1

Celková manipulační práce:

$$Mp = 1 + 2 = 3$$

Den 40. – 3. závoz

- kontejnery šarže 1 jsou složeny na místech A a B

Celková manipulační práce:

$$Mp = 1 + 2 = 3$$

Období mezi 40. – 59. Dnem – vyskladnění kontejnerů s materiálem šarže 1 i 4

Celková manipulační práce:

$$Mp = 1 + 2 + 3 = 6$$

Celková manipulační práce za sledované období:

$$Mp = 6 + 3 + 3 + 3 + 3 + 6 = 30$$

Výsledkem tohoto principu uskladňování kontejnerů je maximalizace disponibility perspektivních míst k uskladnění nových kontejnerů během následujících závozů, což přispívá k minimalizaci celkových manipulačních prací.

Cílem praktické části diplomové práce bude navržení matematického modelu, jenž bude minimalizovat celkovou manipulační práci.

4. Teoretická východiska řešení (výběr vhodné metody)

Úlohu řešenou v diplomové práci lze zařadit k optimalizačním úlohám, kdy jejím cílem bude nalezení takového způsobu uskladnění kontejnerů v rámci terminálu, při němž bude dosaženo minimálních celkových manipulačních prací.

Pro optimalizační úlohy je charakteristická existence účelové funkce a soustavy omezujících podmínek. Účelová funkce reprezentuje optimalizační kritérium, jež je zvolené dle zájmu řešitele (např. minimalizace nákladů, maximalizace zisku). Soustava omezujících podmínek vymezuje množinu přípustných řešení, ze kterých je následně prostřednictvím účelové funkce vybíráno řešení optimální.

K řešení optimalizačních úloh se obecně nabízejí metody exaktní, heuristické nebo simulační.

Exaktní metody garantují nalezení optima (řešení nejlepší dosažitelné za daných vstupních podmínek) v případě, že pro řešenou úlohu optimum existuje. Optimalita aktuálně zkoumaného řešení (globální optimum) je ověřována testem optimality, jenž je součástí každé z exaktních metod. Podoba testu optimality se může měnit dle zvolené optimalizační metody, avšak vždy se jedná o podmínku, kterou optimální řešení splňuje. Jako nejvýznamnějšího zástupce skupiny kvantitativních exaktních metod je možno uvést matematické programování, konkrétně lineární programování, které je vhodné pro řešení každého typu optimalizační úlohy, kde se vyskytují lineární výpočetní operace [14].

V případě heuristických metod není možné otestovat, zda aktuálně zkoumané řešení optimalizační úlohy splňuje podmínky optimality. Výsledkem heuristických algoritmů může být i globální optimum, avšak z důvodu absence testu optimality nejsme schopni tuto skutečnost potvrdit. Heuristické metody tak končí zpravidla nalezením lokálního optima. Důvodem, proč se tento typ metod využívá, je fakt, že ne vždy existují k řešení zkoumaného problému metody exaktní, nebo je jejich výkonnost příliš malá na to, aby bylo optimum nalezeno v požadovaném čase. Heuristické metody lze rozdělit na prosté a metaheuristické. Zatímco prosté heuristiky se pohybují pouze v množině přípustných řešení a nejsou schopny opustit lokální minimum dosažené v předešlých krocích, tak v případě metaheuristik se lze poslopností iteračních kroků přesunout z aktuálního lokálního minima do jiné části množiny přípustných řešení, a tím zvýšit pravděpodobnost nalezení řešení s lepší hodnotou účelové funkce, než má aktuálně nejlepší dosažené řešení. Tento přechod je umožněn díky skutečnosti, že metaheuristiky pracují během optimalizace i s nepřípustnými řešeními, prostřednictvím nichž se lze dostat i do oblastí přípustných řešení jinak nepřístupných [14].

Poslední skupinu z výše uvedených metod tvoří metody simulační, které se primárně používají v případech, kdy vstupními veličinami úlohy nejsou konstanty ale náhodné proměnné. Na rozdíl od metod lineárního programování je simulace alespoň částečně schopna zachytit dynamičnost v modelu, v případech některých jsou v simulačních software zabudovány nástroje pro optimalizaci, alespoň na bázi heuristik nebo metaheuristik. Se simulací se tedy dále pojí nevýhody, jako neschopnost garantovat nalezení optimálního řešení a nutnost validace vytvořeného modelu, jež spočívá v porovnání výsledků získaných ze simulačních experimentů s daty z reálného provozu [15].

U exaktních a heuristických metod se často můžeme setkat s požadavkem na optimalizaci úlohy z pohledu více kritérií. V některých případech lze tato odlišná kritéria skalarizovat, tj. vyjádřit hodnoty různých kritérií v stejné jednotce (typicky v peněžních jednotkách) a tím převést úlohu do jednokriteriálního tvaru. Tato transformace však není vždy možná. V takovýchto případech musí být řešena úloha jako úloha vícekriteriální. U optimalizačních úloh s více kritérii (zejména v případech, kdy zlepšováním hodnoty jednoho kritéria dochází ke zhoršování hodnoty jiného kritéria) se zpravidla upouští od požadavku na nalezení optima a v průběhu optimalizačního výpočtu a je hledáno tzv. kompromisní řešení, které by odráželo vliv všech kritérií v závislosti na jejich váze (váha reprezentuje důležitost, kterou zadavatel kritériu přisuzuje). Pouze v malém počtu případů lze nalézt optimální řešení z pohledu všech kritérií [14].

Protože v případě každé optimalizační úlohy je snahou nejdříve hledat globální optimum, bude v diplomové práci preferováno použití exaktní metody pro řešení. Z nabídky exaktních metod budou vybrány metody lineárního programování, protože z exaktních metod jsou nejnáze řešitelné a navíc, z povahy řešené úlohy se dá očekávat linearita účelové funkce i omezujících podmínek (např. celková manipulační práce je přímo úměrná počtu manipulovaných kontejnerů, ujeté vzdálenosti při manipulaci apod.).

V řešeném problému je kontejnerům vstupujícím do terminálu přidělováno volné místo při požadavku na minimalizaci celkové manipulační práce spojené s jejich uskladněním a vyskladněním. Principiálně lze proto problematiku uskladňování kontejnerů v rámci terminálu, jež byla popsána v předešlé kapitole, chápat jako přiřazovací problém.

V základním tvaru úlohy, kdy je rozhodováno o složení kontejneru na konkrétním místě bez nutnosti zohledňovat další dodatečná omezení, by pro nalezení exaktního řešení mohly být použity například následující metody:

- 1) Dantzigův algoritmus,
- 2) Metoda krycích čar,

- 3) Metoda pěstování stromu,
- 4) Littlův algoritmus.

V případě úlohy, která je předmětem diplomové práce, však nejsou metody uvedené v bodech 1) – 4) vhodné, protože se jedná o komplikovanější rozhodovací proces, než je možné řešit s využitím těchto metod.

Identifikace místa uložení kontejneru totiž nezávisí pouze na hodnotě manipulační práce s uskladněním spojené, ale je ovlivňována také:

- 1) šarží materiálu loženého v kontejneru (viz. kapitola č. 3)
- 2) zásadami uplatňovaných pro stohování kontejnerů (viz. kapitola č.3).

V úlohách lineárního programování obecně (a tedy i při tvorbě lineárního matematického modelu) se pracuje s dvěma skupinami veličin:

- konstantami – sloužícími k modelování vstupních dat při sestavě modelu. Konkrétní hodnoty těchto veličin jsou před začátkem řešení úlohy známy a v průběhu výpočtu se nemění,
- proměnnými – sloužícími k modelování rozhodnutí, příp. vytváření logických vazeb mezi veličinami použitými v modelu. Konkrétní hodnoty těchto veličin nejsou před zahájení optimalizačního výpočtu známy a mohou se v průběhu výpočtu měnit v závislosti na zvoleném definičním oboru, který vyplývá z povahy rozhodnutí.

Lineární model se skládá ze dvou základních částí, a to:

- 1) optimalizačního kritéria (účelové funkce),
- 2) soustava omezujících podmínek, přičemž podmínky v soustavě omezujících podmínek lze rozdělit na podmínky obligatorní a strukturální.

První z nich určují definiční obory proměnných, jež závisí na charakteru rozhodování.

V rámci lineárního programování jsou přípustné následující definiční obory:

- 1) množina nezáporných čísel,
- 2) množina nezáporných celých čísel,
- 3) množina hodnot 0; 1.

Druhý typ podmínek se užívá k vymezení množiny přípustných řešení, v níž jsou následně jednotlivá přípustná řešení kvantifikována optimalizačním kritériem, které se volí v závislosti na definovaném zájmu uživatele řešení. Dle kontextu úlohy se hledá řešení, při němž účelová funkce nabývá svého extrému (buď maxima nebo minima). Takové řešení se

označuje za optimální, a jako takové, je za daných vstupních podmínek nejlepší dosažitelné, tj. maximalizuje efekt pro uživatele.

Kromě výše uvedeného se strukturální podmínky využívají i k vytvoření vazeb mezi proměnnými.

Výrazy obsahující proměnné lze v lineárním modelu sčítat, odečítat nebo násobit reálnou konstantou.

Obecný postup tvorby modelu bude aplikován na případě přiřazovacího problému, jehož rozšířená verze bude řešena v rámci praktické části diplomové práce. Přiřazovací problém je speciálním případem dopravní úlohy, ve které jsou kapacity všech zdrojů a požadavky všech spotřebitelů jednotkové.

- 1) Vstupní údaje: I ... množina kontejnerů,
 J ... množina volných míst v překladišti určených k uskladnění kontejnerů,
 $c_{ij}, i \in I, j \in J$... hodnota manipulační práce vynaložené při uskladnění a vyskladnění kontejneru $i \in I$ na volné místo $j \in J$ v překladišti.
- 2) Požadovaná rozhodnutí $\rightarrow u_{ij}$... na jaké volné místo $j \in J$ bude kontejner $i \in I$ složen. Když po skončení optimalizačního výpočtu bude platit, že $u_{ij} = 1$, potom bude kontejner $i \in I$ složen na volné místo $j \in J$, když po skončení optimalizačního výpočtu bude platit, že $u_{ij} = 0$, potom kontejner $i \in I$ na volné místo $j \in J$ složen nebude.
- 3) Optimalizační kritérium = celková manipulační práce.

Jedná se o úlohu minimalizačního typu. V závislosti na mohutnostech množin kontejnerů a míst k uskladnění se bude jednat buď o:

- úlohu vybilancovanou, kde $|I| = |J|$ – všechna místa k uskladnění v rámci terminálu budou využita a všechny kontejnery budou uskladněny,
- úlohu nevybilancovanou kde:
 - když $|I| > |J|$ – některé kontejnery nebudou uskladněny z důvodu vyčerpání kapacity terminálu,
 - $|I| < |J|$ – některá z míst zůstanou nevyužita.

Model vybilancovaného přiřazovacího problému

$$\min f(u) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} \cdot u_{ij}$$

za podmínek

$$u_{ij} \in \{0; 1\} \text{ pro } i \in I, j \in J$$

$$\sum_{j \in J} u_{ij} = 1, \text{ pro } i \in I$$

$$\sum_{i \in I} u_{ij} = 1, \text{ pro } j \in J$$

Model nevybilancovaného přiřazovacího problému s přebytkem kontejnerů

$$\min f(u) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} \cdot u_{ij}$$

za podmínek

$$u_{ij} \in \{0; 1\} \text{ pro } i \in I, j \in J$$

$$\sum_{j \in J} u_{ij} \leq 1, \text{ pro } i \in I$$

$$\sum_{i \in I} u_{ij} = 1, \text{ pro } j \in J$$

Model nevybilancovaného přiřazovacího problému s přebytkem volných míst v překladišti určených k uskladnění kontejnerů

$$\min f(u) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} \cdot u_{ij}$$

za podmínek

$$u_{ij} \in \{0; 1\} \text{ pro } i \in I, j \in J$$

$$\sum_{j \in J} u_{ij} = 1, \text{ pro } i \in I$$

$$\sum_{i \in I} u_{ij} \leq 1, \text{ pro } j \in J$$

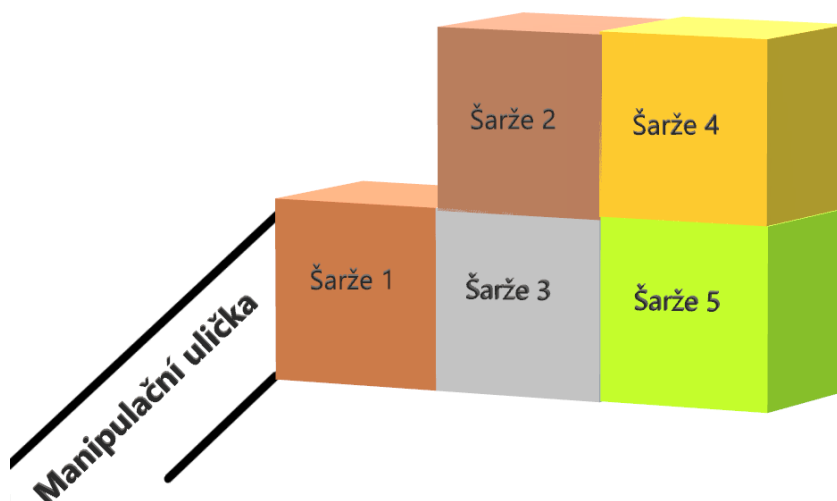
Lineární model vytvořený za účelem vyhledání optimálního uložení kontejnerů bude následně přepsán do optimalizačního softwaru Xpress – IVE, který na základě vstupních údajů vypočítá optimum a vypíše jej (existuje-li více optimálních řešení, potom vypíše první, které bude v rámci optimalizačního výpočtu nalezeno).

5. Návrh optimalizačního přístupu

V této kapitole se bude vycházet z informací, které byly uvedeny v kapitole č.3 (pozn. šarže materiálu ložených v kontejnerech a půdorys terminálu), jež popisovala aktuální stav v terminálu Obrnice a problematiku (pozn. minimalizace manipulační práce), která bude předmětem řešení v praktické části práce.

Před samotným popisem matematického modelu, který byl pro potřeby práce vytvořen, je nutné nejprve uvést předpoklady, ze kterých se vycházelo:

- 1) každý kontejner musí být uskladněn;
- 2) požadovaný počet kontejnerů k uskladnění nesmí překročit kapacitu terminálu;
- 3) ložený kontejner nesmí být složen na kontejner prázdný;
- 4) při uskladňování musí být dodrženy plány ložení, které zajišťují, že nebudou porušena pravidla zavětrování (při bočním větru/poryvu uskladněné kontejnery nespadnou) a nebudou vznikat tzv. „levitující“ kontejnery (kontejner je složen v úrovni stohování větší jak jedna, avšak v úrovni pod ním není složen žádný kontejner);
- 5) čím nižší šarži materiál ložený v kontejneru má, tím kratší je doba uskladnění, a tedy tím přístupnější musí být jeho uložení;
- 6) v případě, že jsou v jedné řadě uskladněny kontejnery vícero šarží, tak je jejich uspořádání takové, že kontejnery s nejnižšími šaržemi jsou složeny co nejbližše manipulační uličky a co v nejvyšší možné úrovni stohování (viz obrázek č. 15). Výsledkem tohoto přístupu je minimalizování potřebné manipulační práce;



Obrázek č. 15: Způsob uskladnění kontejnerů v případě vícero šarží v rámci jedné řady; zdroj: [autor]

- 7) minimalizování počtu řad využitých k uskladnění kontejnerů z důvodu maximalizování zbytkové kapacity terminálu (v případě, že je v řadě složen, byť jediný kontejner, tak tato řada nesmí být použita k složení žádných dalších

kontejnerů až do okamžiku, kdy dojde k vyskladnění všech složených kontejnerů z této řadě – tímto přístupem se zamezuje míchání kontejnerů s materiálem různého data výroby).

- 8) Možnost použití fiktivního kontejneru, jehož význam bude nastíněn na následující situaci. Je potřeba uskladnit 30 kontejnerů se stejnou šarží materiálu v nich loženého. Na výběr jsou tři řady, kam lze složit kontejnery
- řada A – maximální kapacita 32 kontejnerů
 - řada B a C – maximální kapacita 15 kontejner

Řada A nemůže v tomto konkrétním příkladu být využita k uskladnění kontejnerů, jelikož pro ni neexistuje ložný plán umožňující složení 30 kontejnerů. Z tohoto důvodu musí být kontejnery složený v řadách B a C, pro něž existuje ložný plán na složení 15 kontejnerů. Tento problém, tedy uskladňování kontejnerů ve vícero řadách pouze z důvodu absence určitého plánu ložený pro danou řadu, odstraňují fiktivní kontejnery, kdy se celkový počet kontejnerů k uskladnění zvýší o minimální potřebný počet kontejnerů imaginárních, což umožní složení kontejnerů v řadě dle některého z plánu ložení. V nastíněné situaci by se přidaly 2 fiktivní kontejnery, čímž by se celkový počet kontejnerů k uskladnění zvýšil na 32. Řada A by následně mohla být využita k jejich uskladnění, jelikož pro tento počet kontejnerů je v této řadě definován plán ložení.

5.1 Matematická formulace řešení úlohy

Terminál je rozdělen do $n = 8$ sektorů. Tyto sektory mohou mít stejný počet řad, avšak počet míst v jednotlivých řadách je u každého sektoru $i = 1..n$ různý. V rámci kontejnerového překladiště je maximální výška stohování $T = 4$.

Každý sektor $i = 1..n$ má dále definován $c = 3$ možné plány ložení kontejnerů v řadách $j = 1..k$ sektoru i . Zvolený plán ložení $e_{i,j,q}$ následně definuje, kolik kontejnerů musí být složeno v dané řadě j , sektoru i a úrovni stohování $q = 1..T$.

V modelu se pracuje se třiceti stopými kontejnery, které mohou být buďto ložené nebo prázdné. První jmenované jsou dále rozděleny do $l = 5$ skupin v závislosti na šarži materiálu, jenž je v nich uskladněn. Index odpovídající šarži materiálu uskladněného v kontejneru může nabývat celočíselných hodnot z intervalu $\langle 1,5 \rangle$. Číslice 6 je vyhrazena pro kontejnery prázdné. Je známa velikost požadavku na uskladnění kontejnerů šarže p_1, \dots, p_6 .

Celkový počet kontejnerů k uskladnění vypočítaný ze vztahu $p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6$ musí být nenulový a zároveň nesmí překročit kapacitu terminálu.

Ve všech řadách $j = 1..k$ sektorů $i = 1..n$ mohou být uskladněny kontejnery ložené i prázdné, avšak pro druhé jmenované jsou primárně určeny řady $j = 2..k$ sektorů $i = 6..n$.

Pro potřeby modelu byla pro každou řadu $j = 1..k$ sektoru $i = 1..n$ definována její vzdálenost $a_{i,j}$ od místa začátku závozu/ vykládky. Tato vzdálenost byla měřena od paty řady j , tj. od místa na manipulační uličce, ze kterého jsou prováděny manipulační práce v rámci řady j . V rámci vytvořeného modelu je počítáno s tím, že vzdálenost všech míst v řadě j sektoru i od místa začátku závozu/vykládky je rovna hodnotě $a_{i,j}$. V okamžiku obsazení řady j sektoru i jakýmkoliv počtem kontejnerů se do matice vzdáleností vloží na pozici i,j prohibitivní konstanta M zamezující dalšímu využití. Řada j sektoru i může být znova použita k uskladnění až v okamžiku, kdy z ní budou všechny kontejnery vyskladněny.

Úkolem je rozhodnout o uskladnění kontejnerů v terminálu tak, aby celkové manipulační práce byly minimální.

Rekapitulace veličin vstupujících do modelu

Vstupní veličiny

M	Prohibitivní konstanta
c	Počet plánů ložení v rámci jednotlivých sektorů
T	maximální úroveň stohování
p_1	Počet kontejnerů šarže 1
p_2	Počet kontejnerů šarže 2
p_3	Počet kontejnerů šarže 3
p_4	Počet kontejnerů šarže 4
p_5	Počet kontejnerů šarže 5
p_6	Počet kontejnerů šarže 6 (prázdný)
$pocet$	Celkový počet kontejnerů $pocet := p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6$
$a_{i,j}$	Vzdálenost paty řady $j = 1..34$ sektoru $i = 1..8$ od místa začátku závozu/ vykládky (vyjádřeno v metrech)
$e_{i,j,k}$	Požadovaný počet složených kontejnerů v řadě, jež se nachází v sektoru $i = 1..8$, při zvoleném způsobu ložení $j = 1..c$ v úrovni stohování $k = 1..T$
$poradi_i$	Řada v sektoru $i = 1..8$ má počet míst roven $poradi_i$
$o1_i$	Identifikační číslo kontejneru $i = 1..p1$

$o2_i$	Identifikační číslo kontejneru $i = 1..p2$
$o3_i$	Identifikační číslo kontejneru $i = 1..p3$
$o4_i$	Identifikační číslo kontejneru $i = 1..p4$
$o5_i$	Identifikační číslo kontejneru $i = 1..p5$
$o6_i$	Identifikační číslo kontejneru $i = 1..p6$

Identifikační čísla kontejnerů jsou vstupy do modelu z důvodu potřeby těchto údajů pro podrobný výpis, jenž je jedním z výstupů modelu.

Za účelem modelování rozhodnutí byly do modelu zavedeny následující proměnné:

$u_{i,k,l,o,n,m}$	Bivalentní proměnná; když $u_{i,k,l,o,n,m} = 1$, pak kontejner $o = 1..pocet$ s materiálem šarže $m = 1..5/$ prázdný (6) byl složen v sektoru $i = 1..8$, v řadě $k = 1..34$, na místě $n = 1..8$ a v úrovni stohování $l = 1..T$; když $u_{i,k,l,o,n,m} = 0$, znamená to opak,
$v_{i,k,m}$	Bivalentní proměnná; když $v_{i,k,m} = 1$, pak v řadě $k = 1..34$, v sektoru $i = 1..8$ je složen alespoň jeden kontejner s materiálem šarže $m = 1..5/$ prázdný (6); když $v_{i,k,m} = 0$, znamená to opak,
$r_{i,k,l}$	Bivalentní proměnná; když $r_{i,k,l} = 1$, pak v řadě $k = 1..34$, v sektoru $i = 1..8$ byl zvolen způsob ložení $l = 1..c$; když $r_{i,k,l} = 0$, znamená to opak,
$f_{i,k,l,m}$	Bivalentní proměnná; když $f_{i,k,l,m} = 1$, pak v řadě v sektoru $i = 1..8$, v řadě $k = 1..34$, na místě $m = 1..8$, v úrovni stohování $l = 1..T$ byl složen fiktivní kontejner; když $f_{i,k,l,m} = 0$, znamená to opak,
$w_{i,k,n,l}$	Bivalentní proměnná; když $w_{i,k,n,l} = 1$, pak sektoru $i = 1..8$, v řadě $k = 1..34$, na místě $n = 1..8$ byl složen v úrovni stohování l kontejner prázdný a v úrovni stohování $l + 1$ kontejner ložený; když $w_{i,k,n,l} = 0$, znamená to opak.

5.2 Matematický model úlohy

Matematický model řešené úlohy má tvar:

$$\begin{aligned}
& 1) \sum_{i=1}^8 \sum_{k=1}^{34} \sum_{l=1}^T \sum_{n=1}^8 f_{i,k,l,n} * n * 10 * 10^{T-l} + \\
& \sum_{i=1}^5 \sum_{k=1}^{34} \sum_{l=1}^T \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{n=1}^8 \sum_{m=1}^5 u_{i,k,l,o,n,m} a_{i,k} * (50 - 6 * m) + \\
& \sum_{i=6}^8 \sum_{l=1}^T \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{n=1}^8 \sum_{m=1}^5 u_{i,1,l,o,n,m} * a_{i,1} * (50 - 6 * m) + \\
& \sum_{i=6}^8 \sum_{k=2}^{34} \sum_{l=1}^T \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{n=1}^8 u_{i,k,l,o,n,6} * a_{i,k} + \sum_{i=1}^5 \sum_{k=1}^{34} \sum_{l=1}^T \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{n=1}^8 u_{i,k,l,o,n,6} * a_{i,k} * \\
& 100 + \sum_{i=6}^8 \sum_{l=1}^T \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{n=1}^8 u_{i,1,l,o,n,6} * a_{i,1} * 100 + \\
& \sum_{i=6}^8 \sum_{k=2}^{34} \sum_{l=1}^T \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{n=1}^8 \sum_{m=1}^5 u_{i,k,l,o,n,m} * a_{i,k} * (550 - 5 * m) + \\
& \sum_{i=1}^8 \sum_{k=1}^{34} \sum_{m=1}^6 v_{i,k,m} * 200 + \sum_{i=1}^8 \sum_{k=1}^{34} \sum_{n=1}^8 \sum_{m=1}^3 w_{i,k,n,m} * \\
& 100 + \sum_{i=1}^8 \sum_{k=1}^{34} \sum_{l=1}^T \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{n=1}^8 \sum_{m=1}^6 u_{i,k,l,o,n,m} * (poradi_i - n + 1) * m + \\
& \sum_{i=1}^8 \sum_{k=1}^{34} \sum_{l=1}^T \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{n=1}^8 \sum_{m=1}^6 u_{i,k,l,o,n,m} * m * l * 0,1 \rightarrow \min
\end{aligned}$$

Za podmínek:

$$2) \left\{ \begin{array}{l} \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{m=1}^6 u_{5,1,3,o,2,m} = 0 \\ \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{m=1}^6 u_{2,1,3,o,3,m} = 0 \\ \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{m=1}^6 u_{4,1,3,o,5,m} = 0 \\ \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{m=1}^6 u_{4,1,4,o,5,m} = 0 \\ \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{m=1}^6 u_{6,1,3,o,6,m} = 0 \\ \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{m=1}^6 u_{7,1,3,o,7,m} = 0 \\ \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{m=1}^6 u_{7,1,4,o,7,m} = 0 \\ \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{m=1}^6 u_{8,1,3,o,8,m} = 0 \\ \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{m=1}^6 u_{8,1,4,o,8,m} = 0 \end{array} \right.$$

$$3) \left\{ \begin{array}{l} \sum_{l=1}^T \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{n=1}^8 \sum_{m=1}^6 (u_{1,k,l,o,n,m} + f_{1,k,l,n}) = 0 ; pro k = 7.34 \\ \sum_{l=1}^T \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{n=1}^8 \sum_{m=1}^6 (u_{2,k,l,o,n,m} + f_{2,k,l,n}) = 0 ; pro k = 21.34 \\ \sum_{l=1}^T \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{n=1}^8 \sum_{m=1}^6 (u_{4,k,l,o,n,m} + f_{4,k,l,n}) = 0 ; pro k = 8.34 \\ \sum_{l=1}^T \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{n=1}^8 \sum_{m=1}^6 (u_{5,k,l,o,n,m} + f_{5,k,l,n}) = 0 ; pro k = 5.34 \\ \sum_{l=1}^T \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{n=1}^8 \sum_{m=1}^6 (u_{6,k,l,o,n,m} + f_{6,k,l,n}) = 0 ; pro k = 3.34 \\ \sum_{l=1}^T \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{n=1}^8 \sum_{m=1}^6 (u_{7,k,l,o,n,m} + f_{7,k,l,n}) = 0 ; pro k = 3.34 \\ \sum_{l=1}^T \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{n=1}^8 \sum_{m=1}^6 (u_{8,k,l,o,n,m} + f_{8,k,l,n}) = 0 ; pro k = 6.34 \end{array} \right.$$

$$4) \left\{ \begin{array}{l} \sum_{l=1}^T \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{n=2}^8 \sum_{m=1}^6 (u_{1,k,l,o,n,m} + f_{1,k,l,n}) = 0 ; pro k = 1..6 \\ \sum_{l=1}^T \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{n=4}^8 \sum_{m=1}^6 (u_{2,k,l,o,n,m} + f_{2,k,l,n}) = 0 ; pro k = 1..20 \\ \sum_{l=1}^T \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{n=5}^8 \sum_{m=1}^6 (u_{3,k,l,o,n,m} + f_{3,k,l,n}) = 0 ; pro k = 1..34 \\ \sum_{l=1}^T \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{n=6}^8 \sum_{m=1}^6 (u_{4,k,l,o,n,m} + f_{4,k,l,n}) = 0 ; pro k = 1..7 \\ \sum_{l=1}^T \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{n=3}^8 \sum_{m=1}^6 (u_{5,k,l,o,n,m} + f_{5,k,l,n}) = 0 ; pro k = 1..4 \\ \sum_{l=1}^T \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{n=7}^8 \sum_{m=1}^6 (u_{6,k,l,o,n,m} + f_{6,k,l,n}) = 0 ; pro k = 1..2 \\ \sum_{l=1}^T \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{m=1}^6 (u_{7,k,l,o,8,m} + f_{7,k,l,8}) = 0 ; pro k = 1..2 \end{array} \right.$$

$$5) \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^8 \sum_{k=1}^{34} \sum_{l=1}^T \sum_{n=1}^8 u_{i,k,l,o,n,1} = 1 ; pro o = 1..p_1 \\ \sum_{i=1}^8 \sum_{k=1}^{34} \sum_{l=1}^T \sum_{n=1}^8 u_{i,k,l,o,n,2} = 1 ; pro o = 1..p_2 \\ \sum_{i=1}^8 \sum_{k=1}^{34} \sum_{l=1}^T \sum_{n=1}^8 u_{i,k,l,o,n,3} = 1 ; pro o = 1..p_3 \\ \sum_{i=1}^8 \sum_{k=1}^{34} \sum_{l=1}^T \sum_{n=1}^8 u_{i,k,l,o,n,4} = 1 ; pro o = 1..p_4 \\ \sum_{i=1}^8 \sum_{k=1}^{34} \sum_{l=1}^T \sum_{n=1}^8 u_{i,k,l,o,n,5} = 1 ; pro o = 1..p_5 \\ \sum_{i=1}^8 \sum_{k=1}^{34} \sum_{l=1}^T \sum_{n=1}^8 u_{i,k,l,o,n,6} = 1 ; pro o = 1..p_6 \end{array} \right.$$

$$6) \sum_{l=1}^{pocpatern} patern_{i,k,l} \leq 1 ; pro i = 1 \dots 8, k = 1..34$$

$$7) \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{m=1}^6 u_{i,k,l,o,n,m} + f_{i,k,l,n} \leq 1 ; pro i in 1..8, k in 1..34, l in 1..T, n in 1..8$$

$$8) \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{n=1}^8 \sum_{m=1}^6 u_{i,k,l,o,n,m} + \sum_{n=1}^8 f_{i,k,l,n} = \sum_{q=1}^{pocpatern} r_{i,k,q} * e_{i,q,l} ; pro i in 1..8, k in 1..34, l in 1..T$$

$$9) \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{n=1}^8 \sum_{l=1}^T u_{i,k,l,o,n,m} \leq v_{i,k,m} * M ; pro i = 1..8, k = 1..34, m = 1..6$$

$$10) \begin{cases} \sum_{i=1}^8 \sum_{k=1}^{34} \sum_{l=1}^T \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{n=1}^8 u_{i,k,l,o,n,1} = p_1 \\ \sum_{i=1}^8 \sum_{k=1}^{34} \sum_{l=1}^T \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{n=1}^8 u_{i,k,l,o,n,2} = p_2 \\ \sum_{i=1}^8 \sum_{k=1}^{34} \sum_{l=1}^T \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{n=1}^8 u_{i,k,l,o,n,3} = p_3 \\ \sum_{i=1}^8 \sum_{k=1}^{34} \sum_{l=1}^T \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{n=1}^8 u_{i,k,l,o,n,4} = p_4 \\ \sum_{i=1}^8 \sum_{k=1}^{34} \sum_{l=1}^T \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{n=1}^8 u_{i,k,l,o,n,5} = p_5 \\ \sum_{i=1}^8 \sum_{k=1}^{34} \sum_{l=1}^T \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{n=1}^8 u_{i,k,l,o,n,6} = p_6 \end{cases}$$

$$11) \sum_{o=1}^{pocet} u_{i,k,l,o,n,6} + \sum_{o=1}^{pocet} \sum_{m=1}^5 u_{i,k,l+1,o,n,m} \leq 1 + w_{i,k,n,l} * M ; pro i in 1..8, k in 1..34, l in 1..3, n in 1..8$$

$$12) u_{i,k,l,o,n,m} \in \{0,1\} ; pro i = 1..8, k = 1..34, l = 1..T, o i = 1..pocet, n = 1..8, m = 1..6$$

$$13) r_{i,k,m} \in \{0,1\} ; pro i = 1..8, k = 1..34, m = 1..6$$

$$14) v_{i,k,l} \in \{0,1\} ; pro i = 1..8, k = 1..34, l = 1..6$$

$$15) w_{i,k,n,m} \in \{0,1\} ; pro i = 1..8, k = 1..34, n = 1..8, m = 1..6$$

$$16) f_{i,k,l,m} \in \{0,1\} ; pro i = 1..8, k = 1..34, l = 1..T, m = 1..6$$

Funkce (1) představuje kumulované optimalizační kritérium. První člen představuje penalizaci, která bude započtena v případě použití fiktivního kontejneru, a kromě toho určuje i kam by případně měl být kontejner složen (co nejbližze manipulační uličky a co v nejvyšší možné úrovni stohování). Druhý, třetí a čtvrtý členy zajišťují snižování hodnoty účelové funkce v případě, že kontejnery budou uskladňovány do řad, jež jsou pro jejich uskladnění určeny. Pátý, šestý a sedmý členy představují penalizaci za uskladnění kontejnerů do řad, jež nejsou pro jejich uskladnění určeny. Osmý a devátý členy představují penalizace, jež budou započítány v případě, že v řadě $k = 1..34$ sektoru $i = 1..8$ bude složen, byť jediný kontejner s materiálem šarže $m = 1..5$ /prázdný kontejner, respektive ložený kontejner bude složen na kontejner prázdný. Poslední dva členy zaručují, že v případě kontejnerů s vícero šaržemi materiálu v rámci jedné řady, bude způsob jejich uskladnění odpovídat předpokladu 6) popsanému v úvodu kapitoly. Skupiny podmínek (2), (3) a (4) zajišťují, že kontejnery nebudou složeny na místech, která fyzicky neexistují. Skupina podmínek (5) zajišťuje, že index o v bivalentní proměnné $u_{i,k,l,o,n,m}$ nabyde právě jednou každé hodnoty z intervalu $\langle 1, p_m \rangle$, kde p_m je počet kontejnerů ložených materiálem šarže m /prázdných kontejner, které mají být uskladněny. Skupina podmínek (6) zajišťuje, že pro každou řadu v rámci jednotlivých sektorů smí být zvolen maximálně jeden plán ložení. Skupina podmínek (7) zajišťuje, že na jednom místě smí být složen maximálně jeden reálný či fiktivní kontejner. Skupina podmínek (8) zajišťuje, že počet složených kontejnerů v dané řadě odpovídá zvolenému plánu ložení. Skupina podmínek (9) zajišťuje, že v případě využití dané řady

k složení kontejneru/ů, nabyde bivalentní proměnná $v_{i,k,l}$. 1. Skupina podmínek (10) zajišťuje, že všechny kontejnery budou uskladněny. Skupina podmínek (11) zajišťuje, že plný kontejner není nikdy složen na kontejner prázdný. Skupiny podmínek (12), (13), (14), (15) a (16) reprezentují definiční obory užitých proměnných.

5.2.1 Model úlohy v optimalizačním programu Xpress-IVE

Pro větší názornost je uveden text programu vztahující se k třetí fázi modelového příkladu v kapitole šesté.

```

!@encoding CP1250
model ModelName
uses "mmaxprs"; !gain access to the Xpress-Optimizer solver
declarations
M=1000000000
T=4
c=3
p1= 24
p2= 0
p3= 0
p4= 50
p5= 31
p6= 95
pocet= 200
u:array(1..8,1..34,1..T,1..pocet,1..8,1..6) of mpvar
v:array(1..8,1..34,1..6)of mpvar
a:dynamic array(1..8,1..34)of real
e:array (1..8,1..c,1..T) of real
r:array (1..8,1..34,1..c) of mpvar
f:array(1..8,1..34,1..T,1..8) of mpvar
poradi:array(1..8) of real
w:array(1..8,1..34,1..8,1..3) of mpvar
o1:array (1..p1) of real
! o2:array (1..p2) of real
! o3:array (1..p3) of real
o4:array (1..p4) of real
o5:array (1..p5) of real
o6:array (1..p6) of real
end-declarations
a:.[ 185 , 165 , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M ,
M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M ,
M , M , M , M , M , 250 , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M ,
M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M ,
M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M ,
M , M , M , M , M , M , M , M , 170 , 180 , 190 , 200 , 210 ,
220 , 230 , 230 , 220 , 210 , 200 , 190 , 180 , M , M , M ,
240 , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M ,
M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M ,
M , M , 260 , 195 , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M ,
M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M ,
M , M , M , M , M , 230 , 75 , M , M , M , M , M , M , M , M , M ,
M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M ,
M , M , M , M , M , 220 , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M ,
M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M ,
M , M , M , M , M , 210 , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M ,
M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M , M ,
M , M , M , M , M , M ]

```

```

e::[1,1,0,0,
    1,0,0,0,
    0,0,0,0,
    2,1,0,0,
    3,3,0,0,
    3,3,3,0,
    4,4,4,0,
    3,3,3,0,
    4,4,3,0,
    5,5,4,0,
    5,5,5,3,
    5,5,5,5,
    2,2,0,0,
    2,2,1,0,
    2,2,2,0,
    6,6,5,0,
    7,7,6,0,
    7,7,7,6,
    7,7,7,2,
    8,8,8,8,
    8,8,8,6,
    8,8,8,2]
o1::[101,102,103,104]
! o2::[201,202,203,204]
! o3::[301,302]
o4::[401,402]
o5::[501,502]
o6::[601,602]
poradi::[1,3,4,5,2,6,7,8]

sum(o in 1..pocet,m in 1..6)u(5,1,3,o,2,m)=0
sum(o in 1..pocet,m in 1..6)u(2,1,3,o,3,m)=0
sum(o in 1..pocet,m in 1..6)u(4,1,3,o,5,m)=0
sum(o in 1..pocet,m in 1..6)u(4,1,4,o,5,m)=0
sum(o in 1..pocet,m in 1..6)u(6,1,3,o,6,m)=0
sum(o in 1..pocet,m in 1..6)u(7,1,3,o,7,m)=0
sum(o in 1..pocet,m in 1..6)u(7,1,4,o,7,m)=0
sum(o in 1..pocet,m in 1..6)u(8,1,3,o,8,m)=0
sum(o in 1..pocet,m in 1..6)u(8,1,4,o,8,m)=0

forall(i in 1..8,k in 1..34,l in 1..T,o in 1..pocet,n in 1..8,m in 1..6)u(i,k,l,o,n,m) is_binary
forall(i in 1..8, k in 1..34,m in 1..6) v(i,k,m) is_binary
forall(i in 1..8,k in 1..34,l in 1..c) r(i,k,l) is_binary
forall(i in 1..8,k in 1..34,n in 1..8,m in 1..3)w(i,k,n,m) is_binary
forall(i in 1..8,k in 1..34,l in 1..T,m in 1..8)f(i,k,l,m) is_binary
forall(k in 7..34) sum(l in 1..T,o in 1..pocet,n in 1..8,m in 1..6)(u(1,k,l,o,n,m)+f(1,k,l,n))=0
forall(k in 21..34) sum(l in 1..T,o in 1..pocet,n in 1..8,m in 1..6)(u(2,k,l,o,n,m)+f(2,k,l,n))=0
forall(k in 8..34) sum(l in 1..T,o in 1..pocet,n in 1..8,m in 1..6)(u(4,k,l,o,n,m)+f(4,k,l,n))=0
forall(k in 5..34) sum(l in 1..T,o in 1..pocet,n in 1..8,m in 1..6)(u(5,k,l,o,n,m)+f(5,k,l,n))=0
forall(k in 3..34) sum(l in 1..T,o in 1..pocet,n in 1..8,m in 1..6)(u(6,k,l,o,n,m)+f(6,k,l,n))=0
forall(k in 3..34) sum(l in 1..T,o in 1..pocet,n in 1..8,m in 1..6)(u(7,k,l,o,n,m)+f(7,k,l,n))=0
forall(k in 6..34) sum(l in 1..T,o in 1..pocet,n in 1..8,m in 1..6)(u(8,k,l,o,n,m)+f(8,k,l,n))=0

forall(k in 1..6) sum(l in 1..T,o in 1..pocet,n in 2..8,m in 1..6)(u(1,k,l,o,n,m)+f(1,k,l,n))=0
forall(k in 1..20) sum(l in 1..T,o in 1..pocet,n in 4..8,m in 1..6)(u(2,k,l,o,n,m)+f(2,k,l,n))=0
forall(k in 1..34) sum(l in 1..T,o in 1..pocet,n in 5..8,m in 1..6)(u(3,k,l,o,n,m)+f(3,k,l,n))=0
forall(k in 1..7) sum(l in 1..T,o in 1..pocet,n in 6..8,m in 1..6)(u(4,k,l,o,n,m)+f(4,k,l,n))=0
forall(k in 1..4) sum(l in 1..T,o in 1..pocet,n in 3..8,m in 1..6)(u(5,k,l,o,n,m)+f(5,k,l,n))=0
forall(k in 1..2) sum(l in 1..T,o in 1..pocet,n in 7..8,m in 1..6)(u(6,k,l,o,n,m)+f(6,k,l,n))=0
forall(k in 1..2) sum(l in 1..T,o in 1..pocet,m in 1..6)(u(7,k,l,o,8,m)+f(7,k,l,8))=0
forall(i in 1..8,k in 1..34) sum(l in 1..c)r(i,k,l)<=1
forall(i in 1..8,k in 1..34,l in 1..T,n in 1..8) sum (o in 1..pocet,m in 1..6)u(i,k,l,o,n,m)+
f(i,k,l,n)<=1

```

```

sum(i in 1..8,k in 1..34,l in 1..T,o in 1..pocet,n in 1..8)u(i,k,l,o,n,1)=p1
! sum(i in 1..8,k in 1..34,l in 1..T,o in 1..pocet,n in 1..8)u(i,k,l,o,n,2)=p2
! sum(i in 1..8,k in 1..34,l in 1..T,o in 1..pocet,n in 1..8)u(i,k,l,o,n,3)=p3
sum(i in 1..8,k in 1..34,l in 1..T,o in 1..pocet,n in 1..8)u(i,k,l,o,n,4)=p4
sum(i in 1..8,k in 1..34,l in 1..T,o in 1..pocet,n in 1..8)u(i,k,l,o,n,5)=p5
sum(i in 1..8,k in 1..34,l in 1..T,o in 1..pocet,n in 1..8)u(i,k,l,o,n,6)=p6
forall(o in 1..p1)sum(i in 1..8,k in 1..34,l in 1..T,n in 1..8)u(i,k,l,o,n,1)=1
! forall(o in 1..p2)sum(i in 1..8,k in 1..34,l in 1..T,n in 1..8)u(i,k,l,o,n,2)=1
! forall(o in 1..p3)sum(i in 1..8,k in 1..34,l in 1..T,n in 1..8)u(i,k,l,o,n,3)=1
forall(o in 1..p4)sum(i in 1..8,k in 1..34,l in 1..T,n in 1..8)u(i,k,l,o,n,4)=1
forall(o in 1..p5)sum(i in 1..8,k in 1..34,l in 1..T,n in 1..8)u(i,k,l,o,n,5)=1
forall(o in 1..p6)sum(i in 1..8,k in 1..34,l in 1..T,n in 1..8)u(i,k,l,o,n,6)=1
forall(i in 1..8,k in 1..34,l in 1..T)(sum(o in 1..pocet,n in 1..8, m in 1..6)u(i,k,l,o,n,m))+
sum(n in 1..8)f(i,k,l,n)=sum(q in 1..c)r(i,k,q)*e(i,q,l)
forall(i in 1..8, k in 1..34, m in 1..6)sum(o in 1..pocet,l in 1..T,n in 1..8)u(i,k,l,o,n,m)<=
v(i,k,m)*M

forall(i in 1..8,k in 1..34,l in 1..3,n in 1..8)sum(o in 1..pocet)u(i,k,l,o,n,6)+
sum(o in 1..pocet,m in 1..5)u(i,k,l+1,o,n,m)<=1+w(i,k,n,l)*M

opt:=sum (i in 1..8,k in 1..34,l in 1..T,n in 1..8)f(i,k,l,n)*10*(n)*(10^(T-1))+
sum(i in 1..5,k in 1..34,l in 1..T,o in 1..pocet,n in 1..8,m in 1..5)u(i,k,l,o,n,m)*a(i,k)*(50-6*m)+
sum(i in 6..8,l in 1..T,o in 1..pocet,n in 1..8,m in 1..5)u(i,l,l,o,n,m)*a(i,l)*(50-6*m)+
sum(i in 1..5,k in 1..34,l in 1..T,o in 1..pocet,n in 1..8)u(i,k,l,o,n,6)*a(i,k)*100+
sum(i in 6..8,l in 1..T,o in 1..pocet,n in 1..8)u(i,l,l,o,n,6)*a(i,l)*100+
sum(i in 6..8,k in 2..34,l in 1..T,o in 1..pocet,n in 1..8,m in 1..5)u(i,k,l,o,n,m)*a(i,k)*(550-5*m)+
sum(i in 6..8,k in 2..34,l in 1..T,o in 1..pocet,n in 1..8)u(i,k,l,o,n,6)*a(i,k)+
sum(i in 1..8,k in 1..34,m in 1..6)v(i,k,m)*200+sum(i in 1..8,k in 1..34,n in 1..8,m in 1..3)w(i,k,n,m)*100+
sum(i in 1..8,k in 1..34,l in 1..T,o in 1..pocet,n in 1..8,m in 1..6)u(i,k,l,o,n,m)*(poradi(i)-n+1)*m+
sum(i in 1..8,k in 1..34,l in 1..T,o in 1..pocet,n in 1..8,m in 1..6)u(i,k,l,o,n,m)*m*1*0.1
minimize(opt)

if getobjval>M then
writeln("Prekorcena kapacita terminalu")
else
writeln("Vzdalenost: ",getobjval)
forall(i in 1..8) do
forall(k in 1..20)do
if sum(l in 1..T,n in 1..8)getsol(f(i,k,l,n))>=1 then
writeln("Nutnost zkontrolovat radu ",k," v sektoru ",i," - pouzit fiktivni kontejner
")
end-if
end-do
end-do
writeln("Strucny prehled
")
forall(i in 1..8) do
if sum(k in 1..34,l in 1..T,o in 1..pocet,n in 1..8,m in 1..6)getsol(u(i,k,l,o,n,m))+
sum(k in 1..34,l in 1..T,n in 1..8)getsol (f(i,k,l,n))>0 then
writeln("Sektor ",i,"
")
end-if
forall(k in 1..34) do
forall(l in 1..T) do
if sum(o in 1..pocet,n in 1..8,m in 1..6)(getsol(u(i,k,l,o,n,m))+getsol(f(i,k,l,n)))>0 then
writeln("V ",k,".-te rade v ",l,". urovni stohovani bylo slozeno :")
forall(m in 1..5) do
if sum(o in 1..pocet,n in 1..8)getsol (u(i,k,l,o,n,m))>0 then
writeln(sum(o in 1..pocet,n in 1..8)getsol (u(i,k,l,o,n,m))," 30 stopych kontejneru sarze ",m)
end-if
end-do
if sum(o in 1..pocet,n in 1..8)getsol (u(i,k,l,o,n,6))>0 then
writeln(sum(o in 1..pocet,n in 1..8)getsol (u(i,k,l,o,n,6))," 30 stopych kontejneru prazdnych")
end-if
if sum (n in 1..8)getsol (f(i,k,l,n))>0 then
writeln(sum (n in 1..8) getsol (f(i,k,l,n))," fiktivni kontejner")
end-if
end-if
end-do
end-do

```

```

end-do
end-do
writeln("
Podrobný seznam
")
forall(i in 1..8)do
if sum(k in 1..34,l in 1..T,o in 1..pocet,n in 1..8,m in 1..6)getsol(u(i,k,l,o,n,m))+
sum(k in 1..34,l in 1..T,n in 1..8)getsol (f(i,k,l,n))>0 then
writeln("
Sektor ",i)
end-if
forall(k in 1..34) do
forall(l in 1..T) do
if sum(n in 1..8,o in 1..pocet,m in 1..6)(getsol (u(i,k,l,o,n,m))+getsol (f(i,k,l,n)))>0 then
writeln("V ",k,"-te rade v ",l,". urovni stohovani byl slozen na :")
forall(n in 1..8) do
forall(o in 1..p1|getsol(u(i,k,l,o,n,1))>0)
writeln(n,". miste lozeny kontejner skupiny 1 s identifikacnim cislem: ",o1(o)*getsol (u(i,k,l,o,n,1)))
end-do
! forall(n in 1..8) do
! forall(o in 1..p2|getsol(u(i,k,l,o,n,2))>0)
writeln(n,". miste lozeny kontejner skupiny 2 s identifikacnim cislem: ",o2(o)*getsol (u(i,k,l,o,n,2)))
! end-do
! forall(n in 1..8) do
! forall(o in 1..p3|getsol(u(i,k,l,o,n,3))>0)
writeln(n,". miste lozeny kontejner skupiny 3 s identifikacnim cislem: ",o3(o)*getsol (u(i,k,l,o,n,3)))
! end-do
forall(n in 1..8) do
forall(o in 1..p4|getsol(u(i,k,l,o,n,4))>0)
writeln(n,". miste lozeny kontejner skupiny 4 s identifikacnim cislem: ",o4(o)*getsol (u(i,k,l,o,n,4)))
end-do
forall(n in 1..8) do
forall(o in 1..p5|getsol(u(i,k,l,o,n,5))>0)
writeln(n,". miste lozeny kontejner skupiny 5 s identifikacnim cislem: ",o5(o)*getsol (u(i,k,l,o,n,5)))
end-do
forall(n in 1..8) do
forall(o in 1..p6|getsol(u(i,k,l,o,n,6))>0)
writeln(n,". miste prazdny kontejner s identifikacnim cislem: ",o6(o)*getsol (u(i,k,l,o,n,6)))
end-do
end-if
end-do
end-do
end-do
end-if
end-model

```

6. Výpočetní experiment

V rámci této kapitoly je uveden modelový příklad uskladnění kontejnerů v terminálu Obrnice, jenž demonstruje funkčnost vytvořeného modelu. Modelovaná situace je rozdělena do tří etap za účelem znázornění postupného zaplňování kontejnerového překladiště během delšího časového období. Jednotlivé fáze se od sebe liší počtem a skladbou kontejnerů k uskladnění (viz tabulky č. 2, 7, 11). Během celé verifikace funkčnosti modelu není počítáno s vyskladňováním kontejnerů, pouze s jejich zavázkou.

Výstupem algoritmu jsou:

- stručný přehled rozmístění kontejnerů (tabulky č. 4, 5, 8, 9, 12, 13),
- podrobný přehled rozmístění kontejnerů v terminálu (tabulka č. 14),
- varování v případě překročení kapacity kontejnerového překladiště,
- informování o nutnosti kontroly způsobu uskladnění kontejnerů v řadě, v níž byl použit fiktivní kontejner.

Z důvodu značné prostorové náročnosti bude podrobný přehled uveden pouze pro prázdné kontejnery složené v řadě číslo 5 sektoru 8.

Písmeno m ve sloupcích **Šarže** znamená, že v dané řadě jsou složeny kontejnery vícero šarží, které jsou uvedeny v závorkách.

Součástí kapitoly jsou i grafické výstupy znázorňující aktuální stav v terminálu, viz obrázky č. 16,17,18.

6.1 První fáze modelového příkladu

Vstupní údaje:

Tabulka č. 2: Počet kontejnerů dle šarží určených k uskladnění a jejich identifikační čísla;
zdroj: [autor]

Počet kontejnerů šarže 1	95
Identifikační čísla kontejnerů šarže 1	1001–1095
Počet kontejnerů šarže 2	70
Identifikační čísla kontejnerů šarže 2	2001–2070
Počet kontejnerů šarže 3	57
Identifikační čísla kontejnerů šarže 3	3001-3057
Počet kontejnerů šarže 4	24
Identifikační čísla kontejnerů šarže 4	4001-4024
Počet kontejnerů šarže 5	18
Identifikační čísla kontejnerů šarže 5	5001-5018
Počet kontejnerů šarže 6	0
Identifikační čísla kontejnerů šarže 6	-

Tabulka č. 3: Vzdálenosti jednotlivých řad od místa začátku závozu/ vykládky (m); zdroj: [autor]

Sektor 1									
Řada	1	2	3	4	5	6			
Vzdálenost	185	165	155	145	135	125			
Sektor 2									
Řada	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Vzdálenost	250	95	85	75	65	55	45	35	25
Řada	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Vzdálenost	22	19	16	19	22	25	35	45	55
Řada	19	20							
Vzdálenost	65	130							
Sektor 3									
Řada	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Vzdálenost	25	35	45	55	65	75	85	95	105
Řada	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Vzdálenost	115	125	135	145	155	75	160	160	160
Řada	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Vzdálenost	170	180	190	200	210	220	230	230	220
Řada	28	29	30	31	32	33	34		
Vzdálenost	210	200	190	180	160	150	140		
Sektor 4									
Řada	1	2	3	4	5	6	7		
Vzdálenost	240	85	95	145	135	125	115		
Sektor 5									
Řada	1	2	3	4					
Vzdálenost	260	195	115	105					
Sektor 6									
Řada	1	2							
Vzdálenost	230	75							
Sektor 7									
Řada	1	2							
Vzdálenost	220	65							
Sektor 8									
Řada	1	2	3	4	5				
Vzdálenost	210	25	35	45	55				

Výsledky algoritmu:

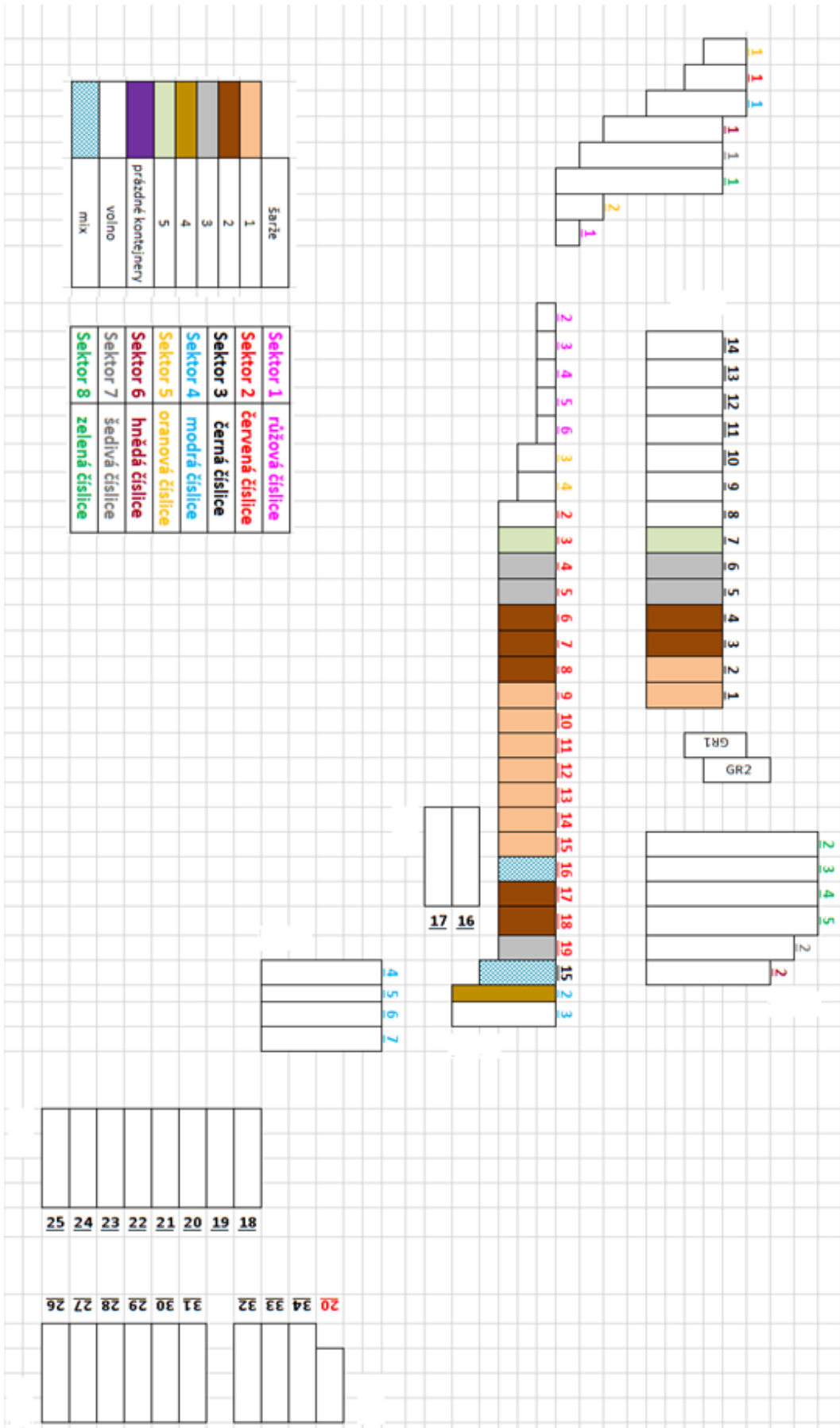
Tabulka č. 4: Stručný přehled rozmístění kontejnerů v rámci terminálu; zdroj: [autor]

<u>Sektor</u>	<u>Řada</u>	<u>Šarže</u>	<u>Identifikační číslo kontejneru</u>
2	3	5	5007,5005,5009,5013, 5011,5010,5004,5015,5017
	4	3	3011,3045,3043,3024,3021, 3013,3048,3023,3046
	5	3	3031,3030,3041,3035,3027, 3051,3040,3037,3032
	6	2	2010,2012,2027,2043,2016, 2008,2027,2055,2029
	7	2	2065,2035,2031,2007,2050, 2006,2009,2004,2061
	8	2	2069,2034,2025,2038,2067, 2066,2005,2039,2064
	9	1	1027,1075,1071,1024,1022, 1079,1089,1014,1090
	10	1	1064,1049,1059,1092,1035, 1008,1058,1087,1077
	11	1	1067,1082,1018,1003,1073, 1036,1056,1015,1065
	12	1	1045,1076,1020,1013,1069, 1037,1085,1034,1030
	13	1	1078,1062,1086,1091,1066, 1010,1033,1005,1023
	14	1	1070,1052,1001,1032,1007, 1060,1043,1039,1074,
	15	1	1088,1072,1093,1046,1063, 1053,1002,1011,1026
	16	m(1/2)	1028,1054,2049,1012,1095, 1029,1017,1048,1042
	17	2	2024,2033,2014,2047,2002, 2058,2021,2020,2003
	18	2	2056,2048,2070,2044,2057, 2045,2041,2023,2052
	19	3	3056,3050,3055,3018,3028, 3012,3001,3025,3036

Tabulka č. 5: Stručný přehled rozmístění kontejnerů v rámci terminálu; zdroj: [autor]

Sektor	Řada	Šarže	Identifikační číslo kontejneru
3	1	1	1031,1051,1021,1040,1019, 1084,1061,1068,1025,1080, 1081,1038
	2	1	1083,1044,1055,1006,1041, 1050,1047,1057,1016,1009, 1004,1094,
	3	2	2017,2001,2026,2019,2062, 2036,2059,2060,2030,2011, 2040,2051
	4	2	2015,2053,2068,2013,2037, 2046,2054,2022,2018,2063, 2031,2042
	5	3	3039,3020,3006,3004,3015, 3033,3057,3015,3008,3044, 3019,3017
	6	3	3022,3042,3026,3007,3005, 3054,3029,3016,3047,3052, 3053,3038
	7	5	5001,5018,5003,5006,5008, 5014,5012,5002,5016
	15	m(3/4)	3009,3003,4020,4011,3010, 3034,4005,4017,3002,3049, 4018,4015
4	2	4	4021,4003,4008,4006,4012, 4022,4016,4001,4023,4013, 4002,4010,4007,4019,4009, 4024,4014,4004

Při uskladňování kontejnerů během fáze č. 1 nebyla překročena kapacita terminálu ani nebyl použitý fiktivní kontejner, což znamená, že není potřeba zkontrolovat způsob uskladnění kontejnerů v žádné z řad.



Obrázek č. 16: Půdorys terminálu s grafickým vyznačením zaplněných řad po fázi jedna; zdroj: [autor]

6.2 Druhá fáze modelového příkladu

Vstupní údaje:

Tabulka č. 6: Vzdálenosti jednotlivých řad od místa začátku závozu/ vykládky (m); zdroj: [autor]

Sektor 1									
Řada	1	2	3	4	5	6			
Vzdálenost	185	165	155	145	135	125			
Sektor 2									
Řada	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Vzdálenost	250	95	M	M	M	M	M	M	M
Řada	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Vzdálenost	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Řada	19	20							
Vzdálenost	M	130							
Sektor 3									
Řada	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Vzdálenost	M	M	M	M	M	M	M	95	105
Řada	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Vzdálenost	115	125	135	145	155	M	160	160	160
Řada	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Vzdálenost	170	180	190	200	210	220	230	230	220
Řada	28	29	30	31	32	33	34		
Vzdálenost	210	200	190	180	160	150	140		
Sektor 4									
Řada	1	2	3	4	5	6	7		
Vzdálenost	240	M	95	145	135	125	115		
Sektor 5									
Řada	1	2	3	4					
Vzdálenost	260	195	115	105					
Sektor 6									
Řada	1	2							
Vzdálenost	230	75							
Sektor 7									
Řada	1	2							
Vzdálenost	220	65							
Sektor 8									
Řada	1	2	3	4	5				
Vzdálenost	210	25	35	45	55				

Tabulka č. 7: Počet kontejnerů dle šarží určených k uskladnění a jejich identifikační čísla;
zdroj: [autor]

Počet kontejnerů šarže 1	24
Identifikační čísla kontejnerů šarže 1	1096–1119
Počet kontejnerů šarže 2	0
Identifikační čísla kontejnerů šarže 2	-
Počet kontejnerů šarže 3	0
Identifikační čísla kontejnerů šarže 3	-
Počet kontejnerů šarže 4	50
Identifikační čísla kontejnerů šarže 4	4025-4074
Počet kontejnerů šarže 5	31
Identifikační čísla kontejnerů šarže 5	5019-5049
Počet kontejnerů šarže 6	95
Identifikační čísla kontejnerů šarže 6	6001-6095

Výsledky algoritmu:

Tabulka č. 8: Přehled rozmístění kontejnerů v rámci terminálu; zdroj: [autor]

Sektor	Řada	Šarže	Identifikační číslo kontejneru
2	2	4	4068,4030,4066,4053,4026, 4033,4048,4031,4034
3	8	1	1103,1114,1101,1108,1097, 1113,1109,1106,1098,1118, 1105,1116
	9	4	4071,4038,4069,4062,4072, 4044,4046,4067,4042,4035, 4052,4047
	10	5	5034,5022,5029,5046,5023, 5037,5026,5021,5036,5039, 5043,5031
	11	5	5041,5040,5024,5027,5025, 5030,5032,5028
4	3	m(1/4)	1102,1117,1119,4039,4028, 1096,1107,1100,4063,4040, 1104,1110,1115,4061,4051, 1111,1112,1099,1059,4050
	7	m(4/5)	4037,4058,4036,5045,5019, 4055,4054,4049,4056,5035, 4060,4029,4057,4045,5033, 4041, 4070,4065,4027,5020
5	3	5	5047,5042,5048,5044,5038, 5049,
	4	4	4043,4064,4073,4074,4032, 4025

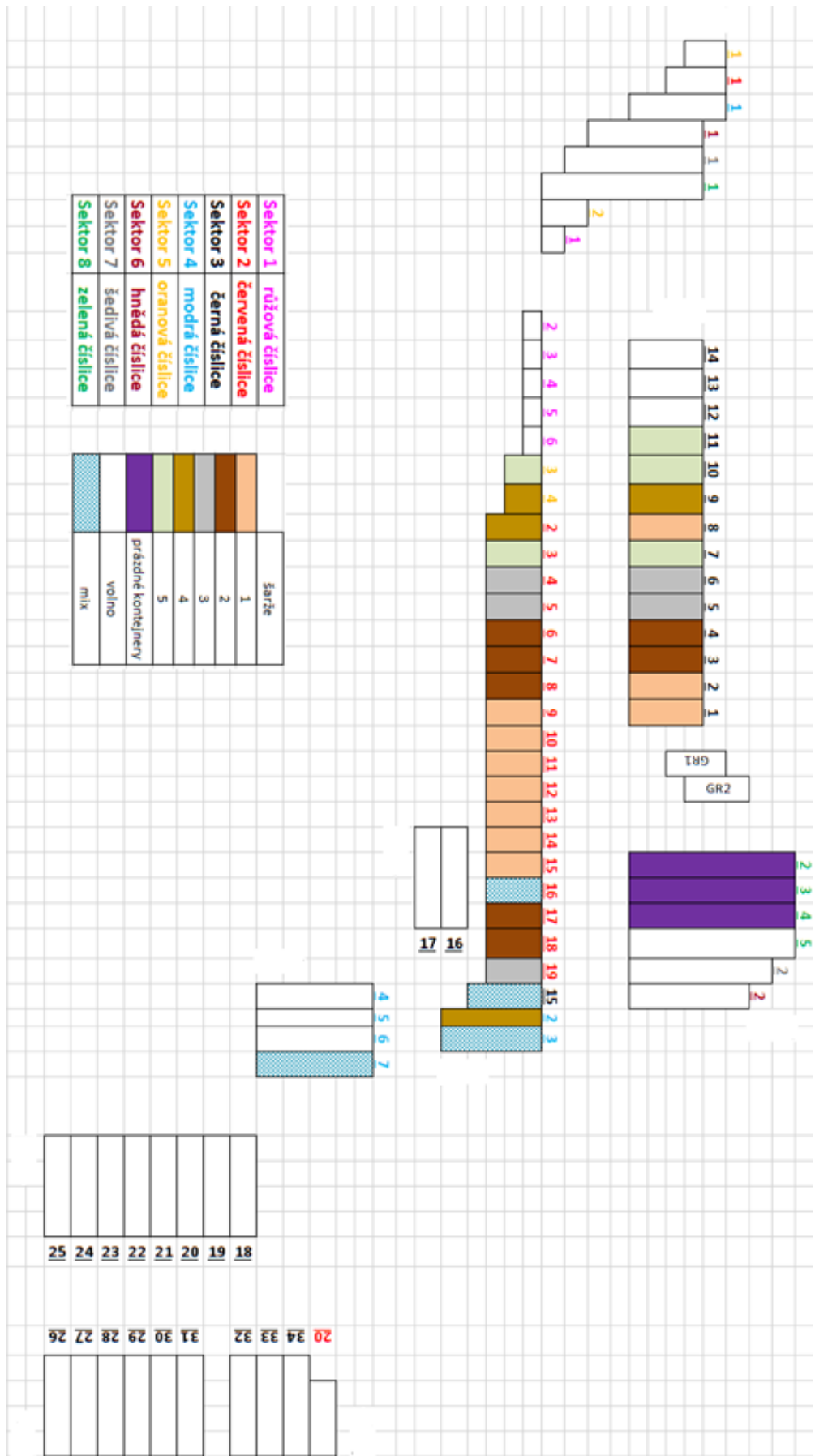
Tabulka č. 9: Přehled rozmístění kontejnerů v rámci terminálu; zdroj: [autor]

<u>Sektor</u>	<u>Řada</u>	<u>Šarže</u>	<u>Identifikační číslo kontejneru</u>
8	2	0	6082,6066,6003,6004,6005, 6006,6007,6070,6009,6010, 6017,6033,6039,6018,6021, 6022,6032,6024,6087,6026, 6020,6028,6029,6030,6031, 6032,6027,6035,6092,6038, 6008,6042
	3	0	6043,6044,6047,6062,6079, 6049,6068,6069,6077,6072, 6074,6081,6064,6063,6041, 6095,6001,6037,6088,6058, 6019,6056,6055,6054,6034, 6084,6094,6080,6014,6052, 6002,6090
	4	0	6067,6053,6083,6015,6093, 6071,6086,6013,6085,6065, 6073,6051,6050,6078,6011, 6025,6040,6061,6060,6036, 6046,6012,6076,6075,6057, 6045,6048,6059,6089, 6091,6016

Během fáze č. 2 nebyla překročena kapacita terminálu, avšak během výpočtu byly použity fiktivní kontejnery, a to v:

- sektoru 3 řadě 11 a
- sektoru 8 řadě 4.

Zde musí operátor před samotným uskladněním kontejnerů zkontrolovat, zdali nedošlo k porušení pravidel zavětrování.



Obrázek č. 17: Půdorys terminálu s grafickým vyznačením zaplněných řad po fázi dvě; zdroj: [autor]

6.3 Třetí fáze modelového příkladu

Vstupní údaje:

Tabulka č. 10: Vzdálenosti jednotlivých řad od místa začátku závozu/ vykládky (m); zdroj: [autor]

Sektor 1									
Řada	1	2	3	4	5	6			
Vzdálenost	185	165	155	145	135	125			
Sektor 2									
Řada	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Vzdálenost	250	M	M	M	M	M	M	M	M
Řada	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Vzdálenost	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Řada	19	20							
Vzdálenost	M	130							
Sektor 3									
Řada	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Vzdálenost	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Řada	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Vzdálenost	M	M	135	145	155	M	160	160	160
Řada	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Vzdálenost	170	180	190	200	210	220	230	230	220
Řada	28	29	30	31	32	33	34		
Vzdálenost	210	200	190	180	160	150	140		
Sektor 4									
Řada	1	2	3	4	5	6	7		
Vzdálenost	240	M	M	145	135	125	M		
Sektor 5									
Řada	1	2	3	4					
Vzdálenost	260	195	M	M					
Sektor 6									
Řada	1	2							
Vzdálenost	230	75							
Sektor 7									
Řada	1	2							
Vzdálenost	220	65							
Sektor 8									
Řada	1	2	3	4	5				
Vzdálenost	210	M	M	M	55				

Tabulka č. 11; Počet kontejnerů dle šarží určených k uskladnění a jejich identifikační čísla;
zdroj: [autor]

Počet kontejnerů šarže 1	0
Identifikační čísla kontejnerů šarže 1	-
Počet kontejnerů šarže 2	118
Identifikační čísla kontejnerů šarže 2	2071-2188
Počet kontejnerů šarže 3	62
Identifikační čísla kontejnerů šarže 3	3058-3119
Počet kontejnerů šarže 4	0
Identifikační čísla kontejnerů šarže 4	-
Počet kontejnerů šarže 5	0
Identifikační čísla kontejnerů šarže 5	-
Počet kontejnerů šarže 6	50
Identifikační čísla kontejnerů šarže 6	6096-6145

Výsledky algoritmu:

Tabulka č. 12; Přehled rozmístění kontejnerů v rámci terminálu; zdroj: [autor]

Sektor	Řada	Šarže	Identifikační číslo kontejneru
1	3	3	3069,3097
	4	2	2162,2154
	5	2	2081,2153
	6	2	2115,2109
2	20	2	2114,2155,2110,2084,2180, 2071,2136,2102,2090
3	12	2	2137,2089,2135,2140,2131, 2142,2143,2144,2145,2146, 2147,2079
	13	2	2108,2149,2150,2172,2176, 2167,2122,2082,2133,2085, 2177,2096
	14	3	3094,3110,3078,3102,3098, 3092,3093,3109,3096,3064, 3115,3073
	16	3	3104,3080,3105,3068,3058, 3119,3081,3111,3084,3107, 3085,3101
	17	3	3065,3059,3099,3082,3117, 3116,3083,3071,3118, 3108,3067
	18	3	3091,3066,3076,3095,3062, 3072,3060,3089,3077,3087, 3090
	32	3	3063,3106,3070,3113,3079, 3112,3086,3103,3088
	33	m(2/3)	2165,2166,3075,3114,2095, 2173,2100,3074,2120,2157, 2118,3061
	34	2	2160,2161,2113,2163,2164, 2086,2127,2111,2091,2168, 2093,2169

Tabulka č. 13; Přehled rozmístění kontejnerů v rámci terminálu; zdroj: [autor]

Sektor	Řada	Šarže	Identifikační číslo kontejneru
4	4	2	2170,2171,2187,2121,2103, 2073,2076,2159,2125,2148, 2181,2129,2105,2138,2188, 2104,2107,2106,2101,2123
	5	2	2179,2186,2130,2126,2185, 2074,2100,2158,2099,2174, 2075,2098,2092,2097,2077, 2184,2124,2152,2087,2134
	6	2	2116,2141,2088,2112,2183, 2083,2132,2178,2080,2094, 2156,2072,2175,2128,2182, 2078,2139,2151,2119,2117
7	2	0	6112,6099,6120,6124,6137, 6098,6123,6105,6135,6122, 6116,6103,6101,6133,6127, 6145,6100,6119,6121,6131,
8	5	0	6117,6136,6096,6132,6110, 6107,6129,6128,6109,6104, 6118,6097,6115,6134,6114, 6106,6102,6108,6113,6126, 6139,6140,6141,6142,6143, 6111,6138,6125,6144,6130

Při uskladňování kontejnerů během fáze č. 3 nebyla překročena kapacita terminálu ani nebyl použitý fiktivní kontejner, což znamená, že není potřeba zkontrolovat způsob uskladnění kontejnerů v žádné z řad.

Jak již bylo v úvodu kapitoly uvedeno, výstupem algoritmu je i podrobný přehled rozmístění kontejnerů v terminálu. Pro každý kontejner je zde kromě sektoru a řady definováno i konkrétní místo v rámci dané řady a úroveň stohování (viz tabulka č. 14).

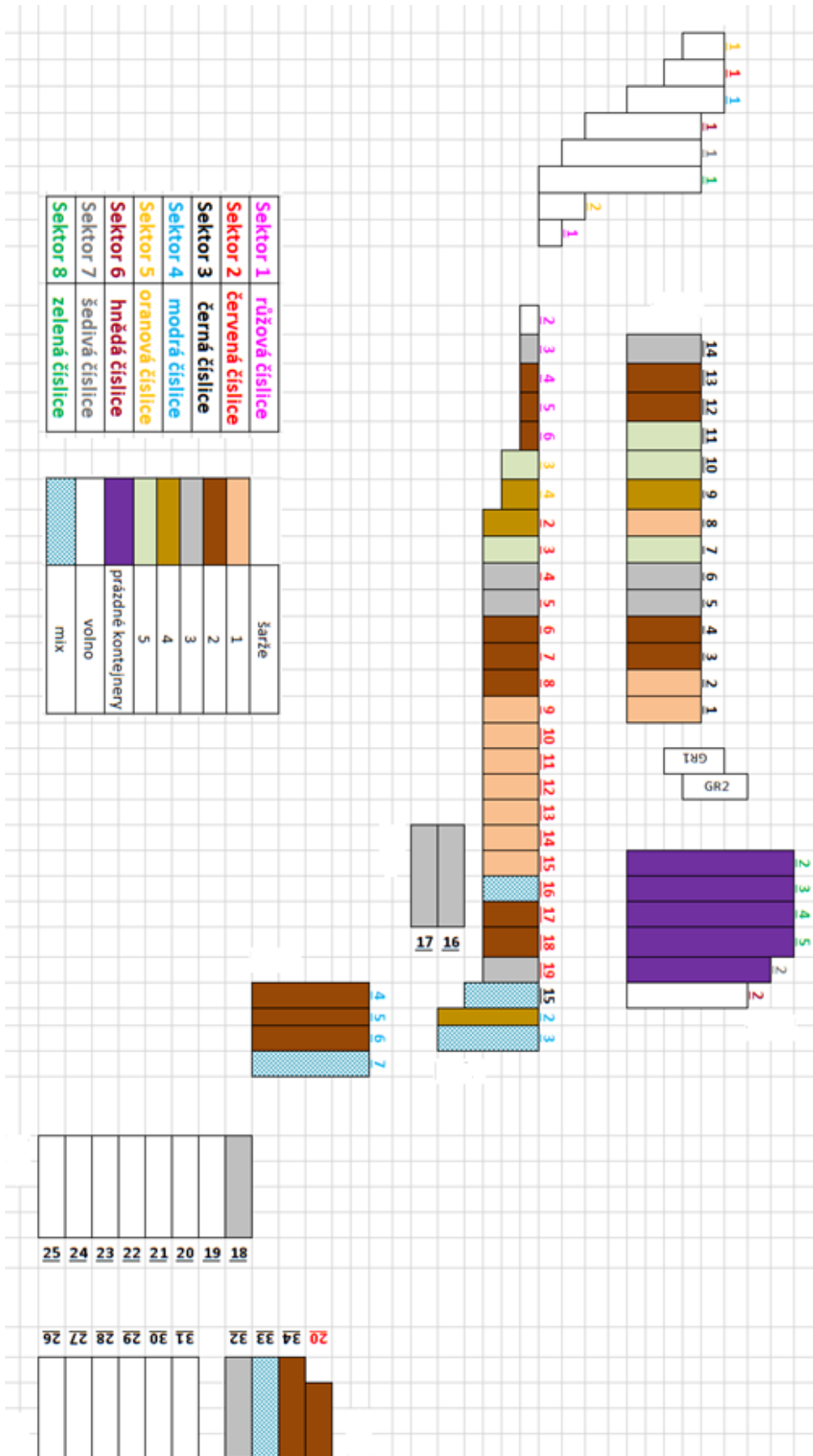
Tabulka č. 14: Podrobný popis rozmístění kontejnerů v rámci překladiště; zdroj: [autor]
Sektor 8

V 5.-té řadě v 1. úrovni stohování byl složen na:

- 1.místě prázdný kontejner s identifikačním číslem: 6117
- 2.místě prázdný kontejner s identifikačním číslem: 6136
- 3.místě prázdný kontejner s identifikačním číslem: 6096
- 4.místě prázdný kontejner s identifikačním číslem: 6132
- 5.místě prázdný kontejner s identifikačním číslem: 6110
- 6.místě prázdný kontejner s identifikačním číslem: 6107
- 7.místě prázdný kontejner s identifikačním číslem: 6129
- 8.místě prázdný kontejner s identifikačním číslem: 6128

V 5.-té řadě v 2. úrovni stohování byl složen na:

- 1.místě prázdný kontejner s identifikačním číslem: 6109
- 2.místě prázdný kontejner s identifikačním číslem: 6104
- 3.místě prázdný kontejner s identifikačním číslem: 6118
- 4.místě prázdný kontejner s identifikačním číslem: 6097
- 5.místě prázdný kontejner s identifikačním číslem: 6115
- 6.místě prázdný kontejner s identifikačním číslem: 6134
- 7.místě prázdný kontejner s identifikačním číslem: 6114
- 8.místě prázdný kontejner s identifikačním číslem: 6106



Obrázek č. 18: Půdorys terminálu s grafickým vyznačením zaplněných řad po fázi tři; zdroj: [autor]

7. Zhodnocení dosažených výsledků

Stručný přehled rozmístění kontejnerů v kontejnerovém překladišti poskytuje přehledným způsobem všechny informace požadované excelovským souborem (viz níže), tj. přehled obsazených řad v jednotlivých sektorech a souhrnný seznam šarží kontejnerů v těchto řadách složených.

Výsledky z podrobného výpisu by měly mít dostatečnou vypovídající hodnotu, aby na jejich základě, mohl operátor, bez nutnosti dalšího zkoumání situace, udílet obsluze reach stackeru pokyny, kam který kontejner složit, tj. sektor, řada, místo v rámci dané řady a úroveň stohování.

Zbývající získané informace – kontrola kapacity terminálu, oznámení o nutnosti prověření správnosti uskladnění kontejnerů v řadách, v nichž byl použit fiktivní kontejner – dopomáhají eliminovat případná rizika a s tím spojené vícenáklady.

V otázce kvality výstupů bylo i přes nižší počet plánů ložení, pro každý sektor byly definovány pouze tři, dosaženo kvalitních výsledků. Takřka ve všech případech byla využita maximální kapacita řad a pouze v jedné ze situací bylo zapotřebí použít fiktivní kontejner, což lze však přisuzovat výše zmíněnému menšímu počtu plánů ložení. V případě jejich navýšení by tento problém s největší pravděpodobností odpadl. Na druhou stranu by zvýšení počtu plánů ložení mohlo negativně ovlivnit časovou náročnost výpočtu. To však již záleží na provozovateli terminálu, zda je ochoten případné navýšení akceptoval či nikoliv.

Výpočetní experimenty v kapitole 6 byly provedeny na počítači vybaveném procesorem Intel (R) Core (TM) i7-3820 CPU @ 3.60 GHz a Ram pamětí o velikosti 32.00 GB. S touto výpočetní technikou byla doba výpočtu jednotlivých fází následující:

- fáze 1–3 hodiny 49 minut
- fáze 2–1 hodina 58 minut
- fáze 3–44 minut

Časová diference není způsobena počtem uskladňovaných kontejnerů v jednotlivých fázích, vždy se jednalo přibližně o 200 kontejnerů, ale prohibitivními konstantami v maticích vzdáleností. Jelikož se v rámci verifikace kontejnery pouze uskladňují, tak počet prohibitivních konstant s každou fází roste v závislosti na obsazování jednotlivý řad. Počet disponibilních řad k uskladnění kontejnerů se tak s každou fází snižuje. To vede k podstatné redukci počtu přípustných řešení, a tím i ke snížení času potřebného k nalezení optimálního řešení. V případě, že by docházelo nejen k uskladňování ale i k vyskladňování, časová náročnost výpočtu by nemusela mít zákonitě klesající tendenci.

Model byl vytvořen pro konkrétní případ terminálu Obrnice. Koeficienty v kriteriální funkci, při nichž dával model korektní řešení, byly zvoleny experimentálně. Při jakýchkoliv změnách v terminále by musel být současný model modifikován, a to včetně výše zmíněných koeficientů.

Nevýhodou navrženého modelu je značná časová náročnost během importu vstupních údajů. Kromě relativně rychlého zadání počtu kontejnerů k uskladnění a jejich identifikačních čísel je totiž potřeba aktualizovat matice vzdáleností řad od místa začátku závozu /vykládky (ověření jejich volnosti) a to před každým závozem. Celkový počet prvků těchto matic je 256, což je již objem, který není nejsnazší zpracovávat ručně, a to jak po stránce časové, tak stránce výskytu chyb.

S cílem eliminovat nedostatky uvedené v předchozím odstavci, byl v rámci diplomové práce vytvořen excelovský soubor mající pět listů:

- 1. list – grafické znázornění půdorysu terminálu, kde řady jednotlivých sektorů jsou označeny příslušným číslem v barvě náležící danému sektoru. Výplň obdélníku, který reprezentuje danou řadu, je dána šaržemi kontejnerů v této řadě složených. Ukázka - viz. předešlá kapitola.
- 2. list – formulář pro zaznamenání, zda byla daná řada využita a kontejnery jaké šarže v ní byly složeny (šarže 1, ... ,5 - kontejnery ložené, šarže 6 – prázdné kontejnery; šarže (m) – v řadě jsou složeny kontejnery více šarží). Vstupem jsou údaje ze stručného přehledu, viz kapitola č. 6. Na základě zadaných informací do listu č. 2, se automaticky upraví vzdálenosti obsazených řad od místa začátku závozu/ vykládky. Modifikace spočívala v nahrazení skutečné vzdálenosti prohibitivní konstantou zamezující dalšímu využití těchto řad (=obsazení řady).
- 3. list – aktuální matice vzdáleností
- 4. list – formulář pro zadání nových počtů kontejnerů daných šarží určených k uskladnění.
- 5. list – obsahuje samotný kód programu, který se automaticky upravuje v závislosti na aktuálních maticích vzdáleností a novém zadání (v případě že není v plánu uskladnit ani jeden kontejner určité šarže, program zakáže příslušné řádky kódu vztahující se k této šarži). Jedinou povinností uživatele vztahující se k tomuto listu je, kromě zkopírování textu programu do optimalizačního softwaru Xpress-IVE, doplnění identifikačních čísel kontejnerů do příslušných řádků programu.

Funkčnost Excel souboru byla otestována na modelovém příkladu v kapitole č.6, kdy posloupnost jednotlivých kroků byla následující:

- 1) Stručný přehled výstupů z matematického modelu byl přepsán do listu č.2 (tabulka č. 19);
- 2) Byly pozměněny vstupní údaje (počty kontejnerů k uskladnění dle jednotlivých šarží) v listu č. 4;
- 3) Byla zadána identifikační čísla kontejnerů do kódu programu v listu č. 5;
- 4) Byl zkopírován text programu z listu č. 5 do optimalizačního softwaru Xpress-IVE;

Výsledkem toho postupu bylo rychlé a přehledné řešení zkoumané situace.

Tabulka č. 19: List č. 2 excelovské tabulky; zdroj: [autor]

Sektor 2		
Řada	Obsazeno (ano/-)	šarže (1/2/3/4/5/ prázdný(=6)/mix(=m))
1		
2	ano	4
3	ano	5
4	ano	3
5	ano	3
6	ano	2
7	ano	2
8	ano	2
9	ano	1
10	ano	1
11	ano	1
12	ano	1
13	ano	1
14	ano	1
15	ano	1
16	ano	m
17	ano	2
18	ano	2
19	ano	3
20	ano	2

8. Doporučení pro provozovatele kontejnerového terminálu do budoucna

Výstupem praktické části práce je návrh exaktního přístupu k uskladňování kontejnerů v terminálu Obrnice. Ačkoliv bylo v rámci vytvořeného modelu přistoupeno k značnému zjednodušení (slučování šarží materiálů či menší počet plánů ložení), výsledný program poskytuje kvalitní nástroj pro nastínění parametrů řešení. Navržený přístup řešení zároveň představuje firmě Upline CZ s.r.o. směr, kterým by se v otázce optimalizace uskladňování kontejnerů mohla vydat.

V kapitole 3, v níž byla popsána současná situace v terminálu, byla, mimo problematiky uskladňování kontejnerů, zmíněna i docházející kapacita ploch určených pro paletové zboží. Tento problém se stává čím dál tím více akutním, kdy v případě absence jakéhokoliv řešení, nebude kontejnerový terminál Obrnice během několik měsíců schopen přijmout žádné další paletové zboží. Takováto situace by se odrazila nejenom v ušlém zisku, ale také by mohla negativně ovlivnit konkurenceschopnost firmy Upline CZ s.r.o.

Možná řešení, k nimž by firma Upline CZ s.r.o. mohla u výše popsaného problému přistoupit, budou popsána v následující kapitole.

Rozšíření skladovací plochy

Jedním z možných řešení je výstavba nových skladovacích ploch primárně určených pro paletové zboží, kdy v závislosti na rozloze, by bylo možné pokrýt poptávku na uskladnění až na několik let dopředu. Zároveň by vložení finančních prostředků do této alternativy přispělo k rozvoji a modernizaci samotného terminálu, z čehož by mohla firma dlouhodobě těžit.

Před samotnou výstavbou by si však firma měla vypracovat Cost benefit analýzu, jejímž výsledkem by mělo být stanovisko, zdali se rozšíření vyplatí či nikoliv. Stěžejním faktorem zde bude procentuální vytížení nové plochy v určitém časovém horizontu, který bude dán velikostí investice. Je samozřejmé, že plocha nebude po celé sledované období vytížena stoprocentně, avšak je nezbytně nutné, aby příjmy za dobu životnosti se minimálně rovnaly vstupní investici navýšené o provozní náklady.

Vyšší úroveň stohování

V kapitole č. 3 bylo řečeno, že v současné době se kontejnery stohují maximálně do výšky 4. Této možnosti se většinou využívá pouze v řadách s prázdnými kontejnery. Ve zbytku řad, kde jsou uskladněny kontejnery ložené, jsou na sobě uloženy zpravidla kontejnery tři. V některých případech nebylo možné čtvrtou úroveň využít z důvodu pravidel zavětrování, avšak většinou nebylo k využití této možnosti důvod. Kapacita skladovacích ploch pro

kontejnery byla dostatečná a nižší úrovní stohování zajišťovala větší komfort při manipulačních pracích s kontejnery.

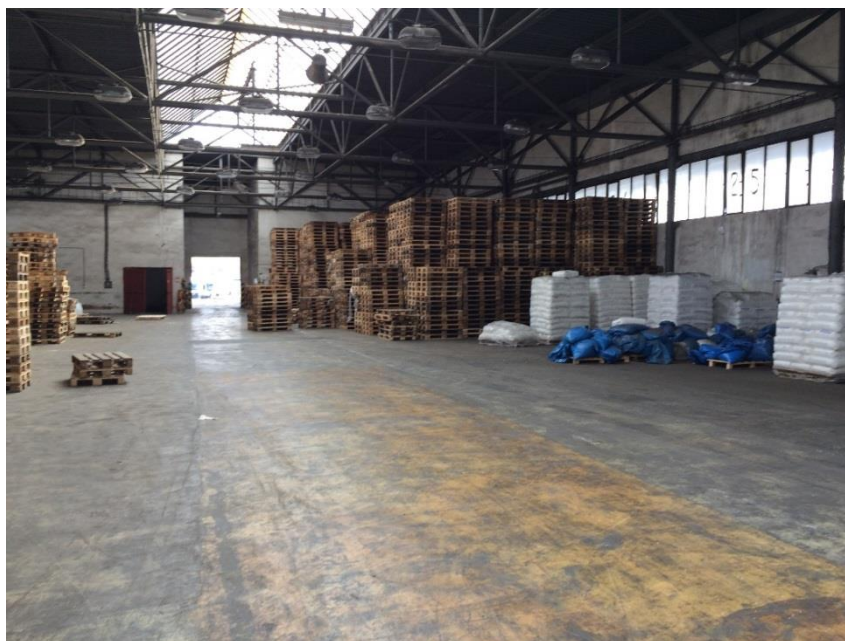
V současnosti sice kapacita skladovacích ploch pro kontejnery není vyčerpána, avšak pokud by bylo přistoupeno ke stohování do větší výšky (technicky je možná až úroveň stohování 6), mohlo by dojít k uvolnění značné plochy, jež by mohla být využita k složení paletového zboží.

Změna v úrovni stohování by samozřejmě mohla být aplikována pouze tam, kde by byla dodržena pravidla zavětrování.

Využití krytého skladu

Ačkoliv terminál disponuje krytým skladem, kde lze uskladnit zboží na paletách, v praxi se této možnosti využívá pouze sporadicky. Většina skladovacích ploch je momentálně prázdná, pouze na jedné z nich jsou složeny prázdné palety (viz obrázky č 14). Možným důvodem, proč k tomuto dochází, může být skutečnost, že tento prostor je primárně určen pro skladování zboží na paletách, jež nesmí být vystaveno venkovním vlivům (např. minerální vody). V případě, kdy se však tento druh zboží v terminálu nenachází, mohly by zde být uskladněny palety i s polypropylenem a polyethylenem, byť pouze dočasně. U tohoto typu zboží by se mohlo navíc přistoupeno ke stohování, čímž by se lépe využila kapacita skladu.

Kromě využití kapacity skladu by se minimalizovala i manipulační práce při plnění autocisteren materiálem loženým na paletách, jelikož se depytlovací zařízení nachází hned vedle skladu.



Obrázek č. 14: Aktuální situace v krytém skladu; zdroj: [autor]

Společnost Upline CZ s.r.o. by v následujících letech měla postupně přistoupit k všem výše popsaným možnostem. První varianta – rozšíření skladovací plochy – se již začala realizovat (obrázek č. 15). Aktuálně se staví nová plocha s rozlohou $300 \times 50 \text{ m}^2$, čímž by se měla celková plocha pro uskladnění paletového zboží zvýšit cca o $12\,000 \text{ m}^2$ (nutnost počítat i s manipulačními plochami). Je zde plánováno skladovat primárně palety se zbožím, jež lze stohovat, tj. polypropylen a polyetylen. Vytíženost minimálně v následujících několika letech by měla být zajištěna Unipetrolelem a.s., který své zboží čím dál tím častěji skládá na palety [3].



Obrázek č. 15: Výstavba nové skladovací plochy; zdroj: [autor]

Závěr

V dnešní době by se daly logistické technologie redukující skladové zásoby považovat za populární téma. Mnoho lidí se domnívá, že je lze implementovat bez větších obtíží takřka v každé větší firmě, a tím si zajistit efektivní fungování logistických řetězců procházejících podnikem. Skutečnost je však jiná, kdy pouze malé procento firem, jež mají silnou a stabilní pozici na trhu, se mohou k těmto technologiím uchýlit. Z toho vyplývá, že si většina firem musí ve větší či menší míře udržovat určitou úroveň zásob, pro jejichž uskladnění mohou využít služeb kontejnerového terminálu Obrnice [16].

Cílem této diplomové práce bylo zachytit aktuální stav panující ve výše uvedeném terminálu a definovat problémy, jenž jej v současné době sužují. Na základě získaných podkladů byl vypracován matematický model řešící optimální uskladňování kontejnerů v rámci kontejnerového překladiště. Součástí výstupu práce je i návrh opatření, jimiž by společnost Upline s.r.o. mohla předejít vyčerpání kapacit skladovacích ploch pro paletové zboží.

Grafické výstupy znázorňující aktuální stav v terminálu během verifikace funkčnosti vytvořeného matematického modelu a veškeré tabulky v diplomové práci byly vytvořeny v programu Microsoft Excel 2010. Textová část byla sepsána v programu Microsoft Word 2010 a schémata procesů během příjmu paletového zboží a skladovacích plochy pro kontejnery byla zpracována v programu Autodesk AutoCAD 2014.

Použité zdroje

- [1] SLUŽBY UPLINE. *Upline* [online]. [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.upline.cz/sluzby/>
- [2] NOVÁK, Jaroslav. *Kombinovaná přeprava*. Vyd. 2., rozš. Praha: Institut Jana Pernera, 2010. ISBN 978-80-86530-59-8.
- [3] Interní materiály společnosti Upline .s.r.o
- [4] Kontejner. *Wikipedia* [online]. 2018 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kontejner>
- [5] Typy kontejnerů. *Metrans* [online]. [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <http://www.prodej-kontejnery.cz/content/types>
- [6] Velkoobjemový vak (bigbag). *REO AMOS* [online]. [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.reoamos.cz/velkoobjemovy-vakbigbag/d-5584/>
- [7] Multimodální přepravy potřebují lepší infrastrukturu. *Bohemiakombi* [online]. [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.bohemiakombi.cz/media/cache/file/56/LogisticNews-12-2016.pdf>
- [8] Vysokozdvíhací vozík. *Wikipedie* [online]. 2019 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Vysokozdvi%C5%BE%C3%BD_voz%C3%ADk
- [9] Tautliner. *Wikipedia* [online]. 2019 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Tautliner>
- [10] ATP (dohoda). *Wikipedie* [online]. 2019 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/ATP_\(dohoda\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/ATP_(dohoda))
- [11] Podmínky pro přepravu tlakových lahví v dodávkovém vozidle. *Bozpprofi* [online]. [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.bozpprofi.cz/33/podminky-pro-prepravu-tlakovych-lahvi-v-dodavkovem-vozidle-uniqueidgOkE4NvrWuNbYgYq82yeiNjn7r9Sq7bkayX0xicUK50/>
- [12] Europaleta. *Wikipedie* [online]. 2017 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Europaleta>
- [13] Newtonův gravitační zákon. *Wikipedie* [online]. 2019 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Newton%C5%AFv_gravita%C4%8Dn%C3%AD_z%C3%A1kon
- [14] TEICHMANN, Dušan. *Optimalizace technologických procesů*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 2017. ISBN 978-80-248-3269-2.
- [15] ACTA LOGISTICA MORAVICA: PERIODICKÝ INTERNETOVÝ ČASOPIS V OBORU LOGISTIKY [online]. 2012, 2(1) [cit. 2019-05-16]. ISSN 1804 - 8315.

[16] LAMBERT, Douglas M., James R. STOCK a Lisa M. ELLRAM. Logistika: příkladové studie, řízení zásob, přeprava a skladování, balení zboží. 2. vyd. Brno: CP Books, 2005. Business books (CP Books). ISBN 80-251-0504-0.

[17] Návěs. Wikipedie [online]. 2018 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/N%C3%A1v%C4%9Bs>