

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**FAKULTA DOPRAVNÍ**

Bc. Martin Janda

**Optimalizace distribuce technických plynů**

Diplomová práce

**2017**



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

Fakulta dopravní

d ě k a n

Konviktská 20, 110 00 Praha 1

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

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Martin Janda**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**N 3710 – LA – Logistika a řízení dopravních procesů**

Název tématu (česky): **Optimalizace distribuce technických plynů**

Název tématu (anglicky): Optimization of Distribution of Technical Gases

**Zásady pro vypracování**

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

- současný stav zákazníků, jejich přiřazení k atrakčním obvodům, distribuovaných produktů a rozvozových tras ve vybrané společnosti
- zvolení vybraného produktu pro distribuci
- využití aparátů teorie grafů pro distribuci technických plynů s heterogenním vozovým parkem
- výběr vhodné metody pro řešení problému včetně konstrukce modelového řešení
- návrh řešení pomocí vybraných metod a vlastní návrhová část
- vyhodnocení všech variantních přístupů a srovnání se současným stavem

- Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucí diplomové práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Svoboda V., Volek J., Mocková D., Sekal V. Teorie dopravy II. ČVUT, Praha, 2003  
Volek J., Linda B. Teorie grafů - aplikace v dopravě a veřejné správě. Univerzita Pardubice, 2012

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Denisa Mocková, Ph.D.**  
**Ing. Filip Kaltman**

Datum zadání diplomové práce: **30. června 2016**  
(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: **30. května 2017**  
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. Lukáš Týfa, Ph.D.  
vedoucí

Ústavu logistiky a managementu dopravy



prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

  
Bc. Martin Janda  
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 30. června 2016

## **Poděkování**

Rád bych zde poděkoval Doc. Ing. Denise Mockové, Ph.D. a Ing. Filipovi Kaltmanovi, vedoucím diplomové práce, za zájem, vedení, připomínky a čas, který mi při řešení dané problematiky věnovali. Poděkování patří také mé rodině a blízkým přátelům za pomoc a podporu během 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 užití 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 Děčíně dne 27. května 2017



.....

podpis

# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

## OPTIMALIZACE DISTRIBUCE TECHNICKÝCH PLYNŮ

**diplomová práce**

**květen 2017**

Bc. Martin Janda

### **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce „Optimalizace distribuce technických plynů“ se zabývá distribucí technických plynů ve společnosti, která k této činnosti využívá vozový park nákladních ADR návěsů. Po seznámení se současným stavem a uvedením do řešené problematiky, se snažím distribuci optimalizovat. To spočívá ve snaze o dosažení úspory dopravního výkonu využitím aparátu teorie grafů. Vyhodnocení jednotlivých řešení a porovnání se současným stavem je shrnuto i s doporučeními v závěru mé diplomové práce.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** Distribuce, depo, vrchol, optimalizace

### **ABSTRACT**

This diploma thesis „Optimization of Distribution of Technical Gases“ is dealing with the distribution of technical gases in a company which uses a fleet of ADR semi-trailers for that activity. After acquainting with the current conditions and introduction to the tasks for solutions there comes my effort to optimize the distribution. This attempt is to achieve reduction of the transport performance by the tools of graph theory. Evaluation of individual solutions and comparison with the current state has been summarized together with the recommendations at the end of my diploma thesis.

**KEY WORDS:** Distribution, Depot, Node, Optimization

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A POJMŮ:

C&W	Clarkeova-Wrightova metoda řešení úlohy VRP
VRP	Vehicle Routing Problem / problém okružních jízd
TP	Technické plyny
ADR	Evropská dohoda o mezinárodní silniční přepravě nebezpečných věcí
Flotila	Skupina dopravních prostředků, nebo také vozový park
Terminál	Výrobní závod společnosti, ve kterém dochází k plnění vozidel <ul style="list-style-type: none"><li>• je výchozím bodem flotily, která obsluhuje vrcholy grafu</li><li>• obslužné depo</li></ul>
Atrakční obvod	Území se skupinou zákazníků, jež daný terminál obsluhuje
AP	Společnost Air Products; zabývající se výrobou a distribucí TP
CE	Centrální Evropa; (Česká republika, Polsko, Slovensko)
LIN	Kapalný dusík
LOX	Kapalný kyslík
LAR	Kapalný argon
LCO2	Kapalný oxid uhličitý
BHY	Velkoobjemový vodík
Trip	Jeden výjezd vozidla z terminálu k obsluze zákazníků
FY16	Poslední fiskální rok (2016) společnosti
Cluster	Skupina zákazníků, kteří jsou v určité geografické blízkosti
Runn-out	Dosažení definovaného minima TP v zásobníku zákazníka

## Obsah

Úvod .....	8
1 Uvedení do řešené problematiky .....	10
1.1 Technické plyny .....	10
1.2 Základní způsoby dodání/distribuce technických plynů .....	11
1.2.1 Umístění výrobního zařízení, přímo do místa spotřeby .....	11
1.2.2 Velkoobjemová distribuce .....	12
1.2.3 Distribuce plynů v malých obalových jednotkách .....	15
2 Současný stav zákazníků, jejich přiřazení k atrakčním obvodům, distribuovaných produktů a rozvozových tras ve vybrané společnosti .....	16
2.1 Zákazníci, vozový park a atrakční obvody .....	16
2.1.1 Vozový park .....	17
2.1.2 Atrakční obvody .....	18
2.2 Terminál CZ – LT .....	18
2.3 Plánování a realizace distribuce .....	19
2.3.1 Quest – pomocný program plánování tras .....	20
2.3.2 Cluster – množina sousedních vrcholů .....	22
3 Zvolení vybraného produktu pro distribuci .....	24
3.1 Výběr produktu pro optimalizaci .....	25
3.1.1 BHY .....	25
3.1.2 LCO2 .....	25
3.1.3 LAR .....	25
3.1.4 LIN .....	25
3.1.5 LOX .....	25
3.2 Vybraný produkt – LIN .....	26
3.2.1 Data pro vybraný produkt .....	26
3.2.2 Vozový park – flotila LIN, obslužného depa CZ - LT .....	27
3.3 Heterogenní vozový park .....	28
3.3.1 Rozdílné kapacity cisteren LIN .....	29
3.3.2 Možnost optimalizace .....	30
4 Využití aparátu teorie grafů pro distribuci technických plynů s heterogenním vozovým parkem .....	31
4.1 Porovnání uskutečněných tras s výsledkem algoritmu Clark & Wright .....	31
4.1.1 Princip metody Clark & Wright .....	31
4.1.2 Vytvoření modelu .....	32
4.1.3 Porovnání uskutečněných tras s popsáním algoritmem C&W .....	38



4.1.4	Shrnutí aplikace algoritmu C&W .....	44
4.2	Modifikovaný algoritmus C&W .....	45
4.2.1	Aplikace upraveného algoritmu.....	45
4.2.2	Shrnutí aplikace modifikovaného algoritmu C&W .....	48
5	Simulace dle navrženého algoritmu .....	50
5.1	Data pro simulaci.....	51
5.1.1	Zákazníci LIN českého obslužného depa.....	51
5.1.2	Zjednodušení úlohy .....	52
5.2	Příprava pro simulaci.....	54
5.2.1	Matice úspor.....	54
5.2.2	Příprava k řešení .....	56
5.2.3	Postup při simulaci.....	58
5.3	Simulace.....	59
5.3.1	Simulace - průběh 1.....	59
5.3.2	Simulace - průběh 2.....	60
5.4	Výsledek simulace dle navrženého algoritmu - Noodle .....	61
5.4.1	Distribuované množství .....	61
5.4.2	Dopravní výkon.....	62
5.4.3	Shrnutí simulace.....	63
	Závěr .....	64
	Literatura .....	67
	Seznam obrázků.....	68
	Seznam tabulek.....	70
	Seznam grafů .....	71
	Seznam příloh.....	72

## Úvod

V této diplomové práci budu řešit optimalizaci distribuce technických plynů (TP) ve společnosti Air Products, která jejich výrobu a distribuci provádí.

TP (technické plyny) mají široké využití v odvětvích průmyslu, zemědělství, zdravotnictví a dalších. V mnoha případech je místo jejich výroby rozdílné od místa poptávky, respektive spotřeby a je tedy nutné je přepravit. V převážné většině se jedná o takzvanou přepravu nebezpečných věcí, která se dále dělí dle použité dopravní cesty: silniční, železniční, vodní, nebo letecké.

U popisované distribuce TP v diplomové práci, se zaměřím na převoz po silniční dopravní cestě, která se s ohledem na charakter převážené látky řídí dohodou ADR (Evropská dohoda o mezinárodní silniční přepravě nebezpečných věcí).

Optimalizovat distribuci lze bezpochyby v mnoha oblastech. Například u rozvážejících vozidel, se zaměřením na jejich efektivitu, hmotnost (co nejlehčí) a kapacitu přepravovaného množství (co největší). Technologická a organizační opatření na straně zákaznických instalací, pro zajištění přesných a aktuálních odečtů stavů technických plynů v jejich zásobnících, dostatečné kapacity zásobníků, nebo i možnost jejich nepřetržitého zásobení (24/7). Lze také optimalizovat další náklady, kterými mohou být: spotřeba pohonných hmot, volba dopravce, údržba a opravy vozidel, vyhodnocení správného počtu vozidel a řidičů, atd.

V neposlední řadě je ale zajímavé, zaměřením se na optimalizaci distribuce, při tvorbě rozvozových tras a minimalizaci dopravního výkonu. Toto při současném stavu vozidel, obslužných dep a vrcholů v síti u popisované společnosti AP.

Cílem práce je optimalizace existující distribuce TP, za použití aparátu teorie grafů.

Nejprve popíši současný stav distribuce a způsob tvorby rozvozových tras. Tímto se zabývám v úvodních kapitolách diplomové práce.

Vzhledem k tomu, že jsou distribuovány různé technické plyny, tak se pokusím o optimalizaci dopravního výkonu u jednoho z nich a to s předpokladem, že postup vedoucí k případné úspoře u distribuce tohoto jednoho produktu, lze následně aplikovat i u ostatních rozvážených plynů společnosti.

Možnosti optimalizace distribuce TP jsou v diplomové řešeny čtyřmi způsoby.

Po vysvětlení současného stavu nejprve v kapitole 3.3.2 naznačím technickou možnost optimalizace distribuce v regionu působnosti společnosti. Ta spočívá v možném přemístění vozidel mezi obslužnými depy za účelem lepšího využití jejich kapacit.

V kapitole 4.1 budu řešit úlohu optimalizace heuristickou metodou Clark & Wright, pro kterou si nejprve vytvořím model a vývojový diagram. Následně postup algoritmu použiji pro porovnání s reálně uskutečněnými závozy.

Ve třetím způsobu řešení, který je popsán v kapitole 4.2, algoritmus C&W upravuji. Modifikovaným algoritmem se opět pokouším o úsporu dopravního výkonu v porovnání s již realizovanou distribucí.

Nakonec si vytvořím simulaci distribuce, což popisují v kapitole 5. Při ní jde o to si ověřit, zda lze lépe volit vrcholy, které budou obslouženy a následně samozřejmě o to, zda lze touto změnou výběru dosáhnout požadované úspory dopravního výkonu.

V závěru diplomové práce jednotlivé způsoby vyhodnotím.

# 1 Uvedení do řešené problematiky

Společnost AP se výrobou a distribucí TP zabývá celosvětově. Mateřská základna společnosti je na severoamerickém kontinentu. Tam je i hlavní podíl podnikání společnosti.

V diplomové práci se zabývám distribucí TP společnosti AP v části Evropy. V oblasti nazývané Centrální Evropa (CE). Ta zahrnuje obsluhu vrcholů grafu, neboli zákazníků, na území: Polska a České republiky.

Při řešení úlohy optimalizace distribuce se tedy zabývám obsluhou vrcholů regionu CE. O něco více se zaměřuji na obsluhu vrcholů z českého terminálu, tedy obslužného depa v Záluží u Litvínova.

## 1.1 Technické plyny

V úvodu této práce krátké představení technických plynů a vysvětlení, jak se popisované TP vyrábí, aby se následně dostaly do distribuce a logistického řetězce.

Základními plyny jsou takzvané vzdušné a tvoří je: dusík ( $N_2$ ), kyslík ( $O_2$ ) a argon (Ar). Jsou získávány z okolního vzduchu. Složení z jednotlivých plynů je v následující tabulce:

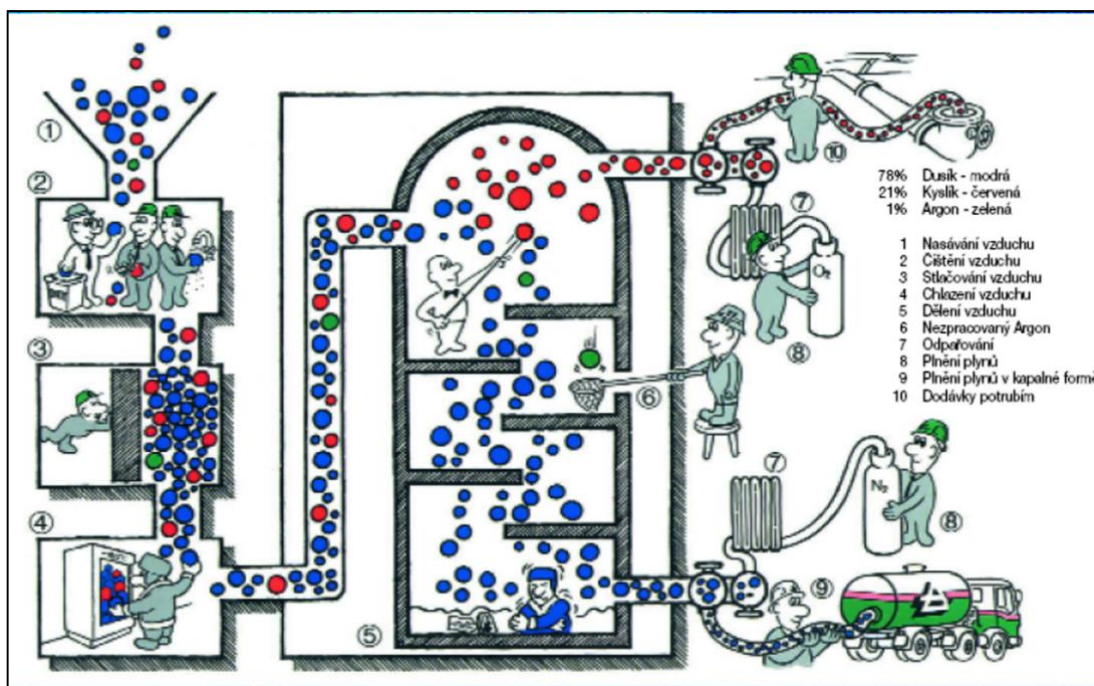
Tabulka 1 Složení vzduchu (objemově), popisované technické/vzdušné plyny [4]

Složení vzduchu		%
<b>Dusík</b>	$N_2$	<b>78,07</b>
<b>Kyslík</b>	$O_2$	<b>20,96</b>
<b>Argon</b>	Ar	<b>0,93</b>
Celkem:		99,96%

Samotný proces je pak v krocích:

- Nasátí vzduchu z okolní atmosféry
- Stlačení vzduchu a čištění
- Rozdělení na jednotlivé složky
- Dodávka zákazníkovi

Obecně je tento proces znázorněn na následujícím obrázku 1, popisujícím kryogenní způsob dělení vzduchu:



Obrázek 1 Kryogenní způsob dělení vzduchu; ilustrační schéma [5]

Dalšími technickými plyny, jež popisovaná společnost distribuuje, jsou:

- Vodík ( $H_2$ ) – v plynném a stlačeném stavu
- Oxid uhličitý ( $CO_2$ ) – v kapalném stavu

Tyto dva technické plyny nejsou průmyslově vyráběny ze vzduchu. Vodík je vyráběn elektrolýzou vody, nebo jako odpadní produkt z jiného chemického procesu. Oxid Uhličitý pak například z parciální oxidace ropy.

Zákazníky společnosti můžeme prvotně rozdělit dle způsobu dodávání TP.

## 1.2 Základní způsoby dodání/distribuce technických plynů

### 1.2.1 Umístění výrobního zařízení, přímo do místa spotřeby

Toto řešení, vzhledem k technické náročnosti a nákladům na realizaci, vyžaduje poptávku zákazníka po velkých objemech TP. Vysoká spotřeba by byla závozy (distribucí) po dopravních cestách uspokojována za cenu, jež by převyšovala náklady spojené s tímto řešením.

Výhodou umístění výroby TP přímo u zákazníka je kromě snížení distribučních nákladů i eliminace případné nespolehlivosti přepravy, jež pak v praxi bývá způsobována zejména dopravními kongescemi.

Řešení představuje napojení zařízení přímo na proces spotřeby zákazníka, nebo v takové vzdálenosti, která umožňuje potrubní přepravu.

Může se jednat o výrobu technických plynů s přebytkem a tedy i možností jejich následné distribuce dalším zákazníkům, formou vybraného dopravního módu.

Příklad výrobního zařízení na následujícím obrázku 2:



Obrázek 2 Výrobní závod technických plynů – společnosti Carbueros Matelicos, Španělsko [6]

## 1.2.2 Velkoobjemová distribuce

Velkoobjemová distribuce je modelem, kterým se v práci budu dále zabývat. Se zaměřením na distribuci po silniční dopravní cestě.

Pro jednotlivé druhy TP jsou s ohledem na jejich vlastnosti, váhová omezení přepravy a dalších kritéria k dispozici optimalizované přepravní prostředky.

U popisované distribuce se jedná o specializované ADR nákladní návěsy, které spadají do kategorie O4 (dle směrnice 2007/46/ES, v ČR zákonem č.56/2001 Sb.) – přípojná vozidla o nejvyšší přípustné hmotnosti přes 10 000 kg.

Společnost pro tyto účely provozuje dva základní typy nákladních návěsů:

- Cisternové; pro přepravu hluboce zchlazených (kryogenních) plynů: dusíku, kyslíku, argonu a oxidu uhličitého
- Bateriové; pro přepravu stlačeného vodíku

### 1.2.2.1 Cisternový návěs

Příklad cisternového návěsu je na následujícím obrázku 3.



**Obrázek 3** Cisternový návěs pro přepravu zkapalněných technických plynů. Provozovatel: Linde; výrobce cisterny: Schwingeschloegel, Rakousko [7]

Vozidlo je tvořeno podvozkovou a nástavbovou částí. Podvozková se výrazně neliší od běžných nákladních návěsů. Nástavbovou část tvoří dvouplášťová cisterna (vnitřní a vnější nádoba) – jež lze laicky popsat jako termosku, která umožňuje ve vnitřní nádobě uchovat kapalinu o teplotě rozdílné té okolní (ačkoliv se teplota kapaliny bude okolní teplotě postupně blížit a rychlost bude závislá zejména na izolačních vlastnostech). Termo hrnek nám v běžném užití poslouží k zachování teplého čaje. Popisovaný speciální ADR cisternový návěs dokáže zachovat přepravovaný kryogenní plyn za nízkých teplot v kapalném stavu (například kapalný dusík, který má teplotu varu  $-196^{\circ}\text{C}$ ).

Přeprava technického plynu k zákazníkům v kapalném stavu, tedy kryogenním, přináší efekt distribuce velkého množství. Zkapalněný plyn totiž představuje malý objem ( $\text{m}^3$ ) oproti stavu plynnému (porovnáme-li objemy kapaliny teploty  $-196^{\circ}\text{C}$  a plynu při okolní teplotě, za stejného tlaku obou skupenství). Pro představu u zmíněného zkapalněného dusíku o objemu  $1 \text{ m}^3$  jeho zplyněním (ohřátím na okolní teplotu a za stejného tlaku kapalina/plyn) získáme přibližně  $800 \text{ m}^3$  čistého plynu. Při vodním objemu vnitřní nádoby  $33 \text{ m}^3$  (jež je typický pro cisterny převážející kapalný dusík) dostaneme  $26\,400 \text{ m}^3$  (tedy 800 x více než je vodní objem nástavbové části).

### 1.2.2.2 Bateriový návěs

Bateriový návěs pro přepravu stlačeného vodíku na obrázku 4.





**Obrázek 4** Bateriový vodíkový návěs společnosti Messer [8]

Tento typ návěsu umožňuje velkoobjemovou přepravu plynu na jiném principu, než popisované cisterny. Zde se plyn pro přepravu a distribuci kompresorem stlačí do tlakových lahví, které tvoří nástavbovou část vozidla. Konstrukce bateriových návěsů se různě liší a to hlavně v nástavbové části, hlavně ve velikosti a počtu tlakových lahví.

Standardem několika posledních desetiletí jsou bateriové návěsy maximálního pracovního tlaku 200 bar (20 MPa) s přibližným vodním objemem všech lahví: 25 m<sup>3</sup>. Přepočtem k atmosférickému tlaku je tedy přepraveno 5 000 m<sup>3</sup> (tedy 200 x více než je vodní objem nástavbové části).

V současné době jsou ve snaze zvýšení kapacity vodíkových návěsů, při jejich výrobě používány tlakové láhve z kompozitních materiálů. Ty jsou výrazně lehčí a mají zároveň i vyšší maximální pracovní tlak. Tím se dosahuje většího vodního objemu a v kombinaci s vyšším tlakem, k výraznému zvýšení množství přepraveného plynu – v průměru zhruba dva až třikrát, tedy přibližně na 12 500 m<sup>3</sup>. Tento nový typ návěsu na obrázku 5.





**Obrázek 5** Vodíkový návěs s tlakovými lahvemi z kompozitních materiálů společnosti Air Products [zdroj: autor]

Takovéto zvýšení kapacity vozidel pro přepravu daného produktu, je také jedním z možných optimalizačních prvků distribuce. V tomto případě je však vhodné zmínit, že pořizovací cena tohoto technologicky modernějšího návěsu je zhruba desetinásobná. Návratnost investice je zde kalkulována na základě úspor v menší potřebě tahačů, řidičů a významně redukovaném dopravním výkonu.

### **1.2.3 Distribuce plynů v malých obalových jednotkách**

Na trhu je zapotřebí zásobit i zákazníky, kteří potřebují technické plyny menších objemů, a to jak svou spotřebou, tak i z praktického hlediska, kdy jsou technické plyny v malých jednotkách, typicky pak tlakových lahvích, přemísťovány k místu jejich spotřeby (například sváření).

Tento segment trhu představuje dodávky TP v menším množství pro jednotlivé koncové uživatele. Malé objemy jednotlivých obalů (lahví) jsou však násobeny mnohem vyšším počtem koncových spotřebitelů.

Příklad vozidla této distribuce technických plynů na obrázku 6:



Obrázek 6 Nákladní vozidlo pro přepravu tlakových lahví - společnosti Praxair [9]

V praxi je způsobů dodávek technických plynů a jejich možných způsobů přepravy více, ale výše popsané tvoří obecný základ.

## **2 Současný stav zákazníků, jejich přiřazení k atrakčním obvodům, distribuovaných produktů a rozvozových tras ve vybrané společnosti**

### **2.1 Zákazníci, vozový park a atrakční obvody**

Zaměřuji se na velkoobjemovou distribuci společnosti AP, zajišťovanou zejména ze dvou hlavních terminálů (obslužných dep), jež budu dále v práci označovat:

- CZ – LT; severozápad České republiky
- PL – KK; jih Polska

Z obou těchto obslužných dep je distribuováno pět různých technických plynů. Jejich přehled, spolu s dalšími údaji, v následující tabulce 2:

Tabulka 2

Distribuované technické plyny ze dvou terminálů [zdroj: autor]

Užívané označení	Vysvětlení použité zkratky	Český název	Teplota převáženého produktu	Typ ADR návěsu	Skupenství (fáze) převáženého technického plynu	Počet návěsů	Počet aktivních zákazníků
<b>LIN</b>	<i>Liquid Nitrogen</i>	Kapalný dusík	- 196°C	cisternový	kapalné	<b>19</b>	362
<b>LOX</b>	<i>Liquid Oxygen</i>	Kapalný kyslík	- 183°C	cisternový	kapalné	<b>18</b>	327
<b>LAR</b>	<i>Liquid Argon</i>	Kapalný argon	- 196°C	cisternový	kapalné	<b>6</b>	192
<b>LCO2</b>	<i>Liquid CO2</i>	Kapalný oxid uhličitý	- 57°C	cisternový	kapalné	<b>3</b>	70
<b>BHY</b>	<i>Bulk Hydrogen</i>	Velkoobjemový vodík	<b>N.A.</b> (okolní teplota)	bateriový	plynné	<b>27</b>	56
<b>Celkem:</b>						<b>73</b>	<b>1007</b>

Z tabulky vyplývá, že pro pět druhů TP, distribuovaných ze dvou terminálů, společnost využívá 73 ADR návěsů, které obsluhují více než tisíc aktivních zákazníků.

Frekvence závozů k jednotlivým zákazníkům je různá a vyplývá z objemu a spojitosti jejich spotřeby. Četnost závozů u aktivních zákazníků se může pohybovat například od jednoho, či dvou za týden až po jeden - dva za rok.

Obecně platí známé Paretovo pravidlo (pravidlo 80/20), kdy přibližně 80% distribuovaných technických plynů spotřebovává 20% zákazníků. Bude také přibližně platit, že 80% všech závozů, je k 20% zákazníkům.

### 2.1.1 Vozový park

Z pohledu vozového parku je v tabulce 3 popsáno rozmístění jednotlivých návěsů dle dvou terminálů a všech produktů.

Tabulka 3

Rozmístění flotily po produktech a terminálech [zdroj: autor]

Terminál	Návěsy po produktech					Celkem po terminálech
	BHY	CO2	LAR	LIN	LOX	
PL - KK (821)	17	2	4	11	12	46
CZ - LT (835)	10	1	2	8	6	27
<b>Celkem po produktech</b>	<b>27</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>19</b>	<b>18</b>	<b>73</b>

Víme tedy jakou flotilu máme na každém terminálu k dispozici. Polská flotila je větší u všech produktů (technických plynů), tomu odpovídá i větší počet obsluhovaných vrcholů (zákazníků; tabulka 4).

### 2.1.2 Atrakční obvody

Počty obsluhovaných vrcholů jsou dle produktů a dle přidělení do atrakčních obvodů jednotlivých terminálů v tabulce 4.

Tabulka 4

Aktivní obsluhovaná depa, po dvou terminálech [zdroj: autor]

Terminál	Aktivní zákazníci / obsluhovaná depa						Celkem po terminálech
	BHY	CO2	LAR	LIN	LOX	MLX	
PL - KK (821)	20	50	137	238	189	58	692
CZ - LT (835)	36	20	55	124	55	25	315
<b>Celkem po produktech</b>	<b>56</b>	<b>70</b>	<b>192</b>	<b>362</b>	<b>244</b>	<b>83</b>	<b>1007</b>

Nejvíce zákazníků je pro kapalný dusík (LIN; 362 x). Kapalný kyslík je rozdělen do dvou typů závozu: LOX a MLX, ačkoliv se ve své podstatě jedná o shodný technický plyn, tak označení MLX znamená, že je kapalný kyslík dodáván jako medicínální (zejména do nemocnic) a je tedy jeho distribuce prováděna dle specifických pravidel, jež však nebudu hlouběji rozebírat.

## 2.2 Terminál CZ – LT

Zpracováním dat za období jednoho roku a to od 1.10.2015 do 30.9.2016, což byl poslední fiskální rok (2016) společnosti, lze blíže sledovat data českého terminálu: CZ-LT, tabulka 5.



Tabulka 5

Terminál - obslužné depo CZ; údaje fiskálního roku 2016 [zdroj: autor]

Terminál: CZ - LT (835)	BHY	CO2	LAR	LIN	LOX (& MLX)	Celkem
Počet návěsů	10	1	2	8	6	27
Dopravní výkon během FY16 [km]	254 086	80 344	271 759	560 958	367 175	1 534 322
Aktivní zákazníci / obsluhované vrcholy	36	20	55	124	80	315
Dodané množství produktu [bez jednotek]	4 968 031	3 022 821	9 774 894	27 734 539	22 544 943	N.A.
Počet tripů	1 392	104	393	1 270	982	4 141
Počet závozu	1 612	243	933	2 805	1 303	6 896
Průměrný počet závozu na jeden trip	1,16	2,34	2,37	2,21	1,33	1,67

V této tabulce jsou dle produktů na jednom místě také dopravní výkony jednotlivých skupin flotily, počty tripů (tedy výjezdů naplněných souprav z terminálu), počty uskutečněných závozu a další. Z tabulky lze také například vyčíst i průměrný počet zavezených zákazníků na jeden výjezd (trip) vozidla z terminálu.

Distribuce vodíku probíhá většinou tak, že je zavezen pouze jeden zákazník (je obsluženo jen jedno depo) – což nedává mnoho prostoru k případné optimalizaci. U distribuce kapalin, zejména pak: CO<sub>2</sub>, LAR a LIN, je vidět, že u nich dochází při jednom tripu v průměru k více než dvěma závozům a je možno si reálné závozy porovnat s výsledkem vybraného algoritmu teorie grafů.

### 2.3 Plánování a realizace distribuce

Plánování velkoobjemové distribuce je v současnosti pro celý region prováděno centrálně, z jednoho střediska. Objednávky závozu jsou přijímány buď telefonicky, nebo na základě telemetrických jednotek, které automaticky odečítají stavy zásobníků technických plynů u jednotlivých zákazníků a aktualizují databázi.

V procesu distribuce je používáno několik prvků:

- Mobilní online zařízení řidičů – pro zaznamenání podrobností jednotlivých jízd, včetně odečtu stavů množství produktu v zásobnících zákazníků

- Program pro tvorbu tras závozu plánovačem: LBShell - který eviduje údaje o zákaznících, řidičích, vozidlech a jiné
- Pomocný program pro plánování: Quest – jež je hlavním nástrojem plánovače pro tvorbu (plánování) jednotlivých tras

Výše popsané prvky vyžadují disciplínu při všech aktualizacích. Jedná se o fungující systém, při kterém není nutno evidovat potřeby závozu do dalších různých forem záznamů, například excelových tabulek, či jiných.

### **2.3.1 Quest – pomocný program plánování tras**

Jak již bylo zmíněno, pro plánování jednotlivých tras, je využíván speciální program Quest. Je to ve své podstatě databáze, která je průběžně aktualizována.

V tomto programu se plánovači zobrazují mimo jiné i časová okna závozu: od/do → tedy, od kdy lze, dle objednávky či kalkulace systému, provést naplnění zásobníku (obsahu depa), až po do kdy se musí obsluha vrcholu realizovat, aby nedošlo k přerušení dodávky TP zákazníkovi (tzv.: Runn Out) a to na základě zadávaných a aktualizovaných dat.

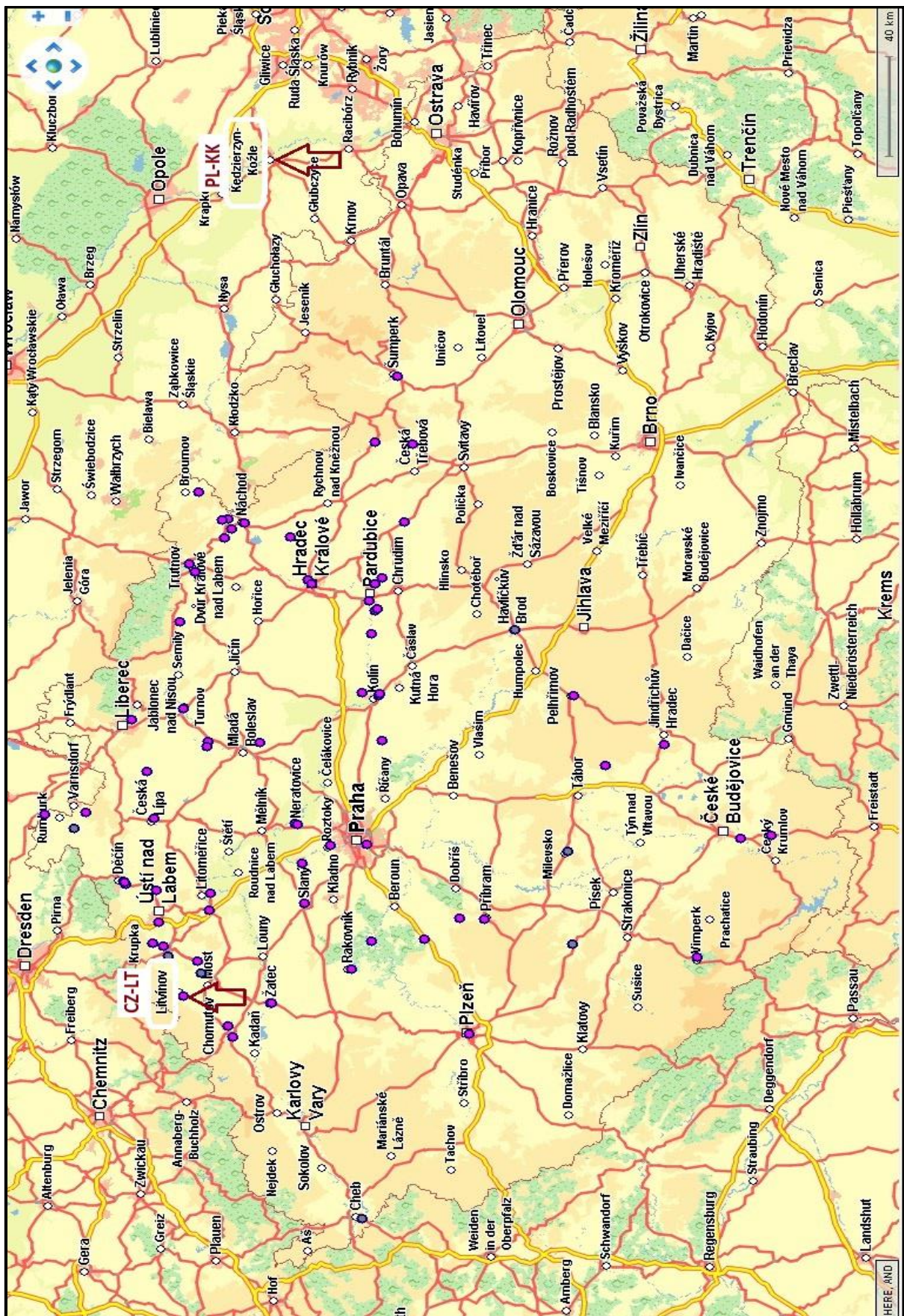
Quest obsahuje informace o:

- zákaznících
  - zejména o stavech jejich technických plynů
  - časová okna závozu
  - adresy a přiřazení zákazníka do geografické skupiny zákazníků (Cluster)
- dostupnosti všech
  - vozidel
  - řidičů

V jeho databázi se zobrazují zákazníci, u kterých je již vytvořeno časové okno závozu, ale také ti, kteří jsou na základě přepočtu systému identifikováni, že jejich obsluha bude v následujících dnech, či týdnech, již nezbytná.

Součástí programu je i mapové zobrazení vrcholů pro daný atrakční obvod obslužného depa. Na obrázku 7 – jsou označeny polohy těchto zákazníků. V tomto případě se jedná o zákazníky, jež jsou přiřazeni do atrakčního obvodu terminálu CZ - LT a distribuovaným produktem je kapalný dusík (LIN). V mapě jsem dodatečně zvýraznil polohy obou obslužných dep: CZ - LT i PL - KK.





Obrázek 7

Zákazníci LIN, terminálu CZ - LT, pro nejbližší závozy – dle aktuálního stavu dne 10.4.2017 [2]

Z mapy je patrné, že české obslužné depo (CZ - LT) nemá obsluhované vrcholy ve východní části republiky. Neznamená to, že by například v okolí Brna, či Ostravy neměla společnost zákazníky, ale tito jsou přiřazeni do atrakčního obvodu terminálu PL - KK.

Program sám nenavrhuje jednotlivé distribuční trasy, ty tvoří po vyhodnocení dat plánovač. Jednotlivé trasy jsou následně tvořeny dle postupu, který je popsán v následující kapitole (2.3.2).

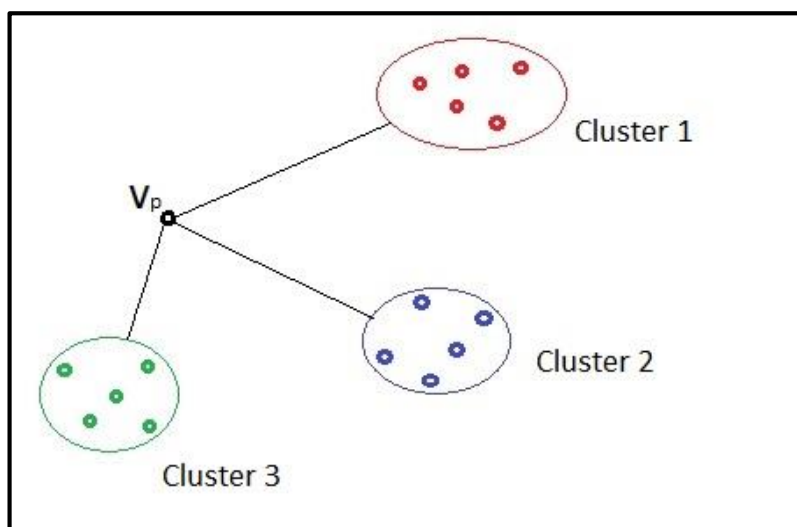
### 2.3.2 Cluster – množina sousedních vrcholů

V Questu jsou nedefinovány oblasti, skupiny zákazníků, nebo jinak řečeno množiny sousedních vrcholů, které jsou v určité geografické blízkosti. Pro představu si můžeme uvést oblast: Praha, kam spadají kromě zákazníků na území našeho hlavního města například i vrcholy Slaný a Neratovice.

Cluster, tedy označení pro jednu takovou skupinu, slouží plánovači k manuálnímu vyhledání zákazníků, respektive volné kapacity jejich zásobníků, které mohou pojmout zbytek produktu z návěsu, po závozu zákazníka, jež je v daném clusteru nutno zavézt.

#### 2.3.2.1 Cluster – obsluha jeho vrcholů

Tento základní distribuční model je naznačen na následujícím obrázku 8.



Obrázek 8 Příklad distribuce TP do jednotlivých množin zákazníků [zdroj: autor]

Víme například, že je nutno zavést jednoho zákazníka z Clusteru 1, jelikož stav technických plynů v jeho zásobníku dosahuje definovaného minima. K tomuto zákazníkovi, respektive k objemu plynu, jež u něj vozidlo vyloží, se hledá další zákazník, či zákazníci, kam se distribuuje zbývající objem plynu obsluhujícího vozidla. Všichni zákazníci jsou z Clusteru 1 a v něm dojde k úplnému vyprázdnění nákladu vozidla.



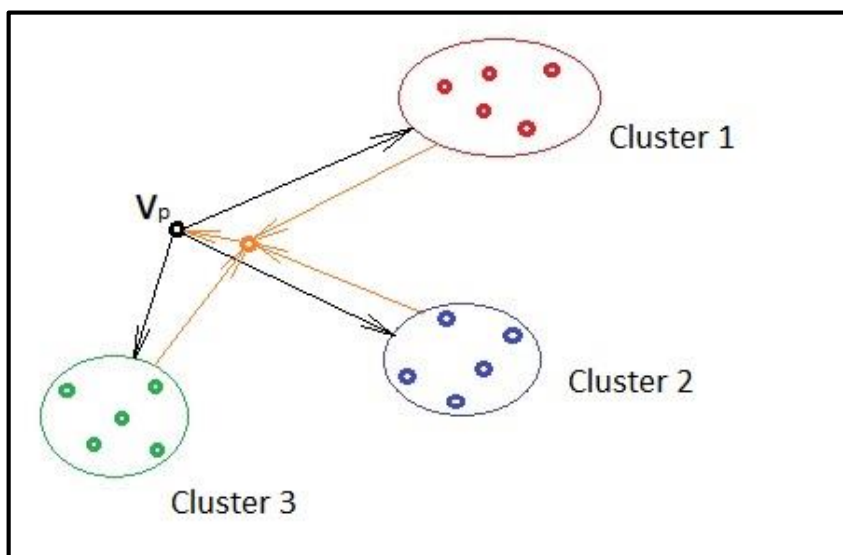
Vozidlo tedy obslouží část vrcholů v jedné množině a vrací se zpět do počátečního vrcholu ( $v_p$ ), obslužného depa. Tím se zjednoduší plánování, jelikož plánovač sestavuje obsluhu zákazníků pouze jednoho clusteru. Pracuje tedy s menším množstvím vrcholů.

### 2.3.2.2 Cluster – nevyčerpaná kapacita vozidla

Z hlediska optimalizace přepravního výkonu (tunokilometr) není vhodné plnit vozidlo pro distribuci méně než do plna, ani kdy je zřejmé, že kapacita vozidla nebude v jednom clusteru složena.

V takovém případě je obvyklým postupem snaha o nalezení kapacity zákazníka, či zákazníků, při zpáteční cestě vozidla z clusteru do  $v_p$ . Vozidlo je vyprázdněno při návratu do obslužného depa.

Toto je naznačeno oranžovými orientovanými hranami a vrcholem, na obrázku 9.

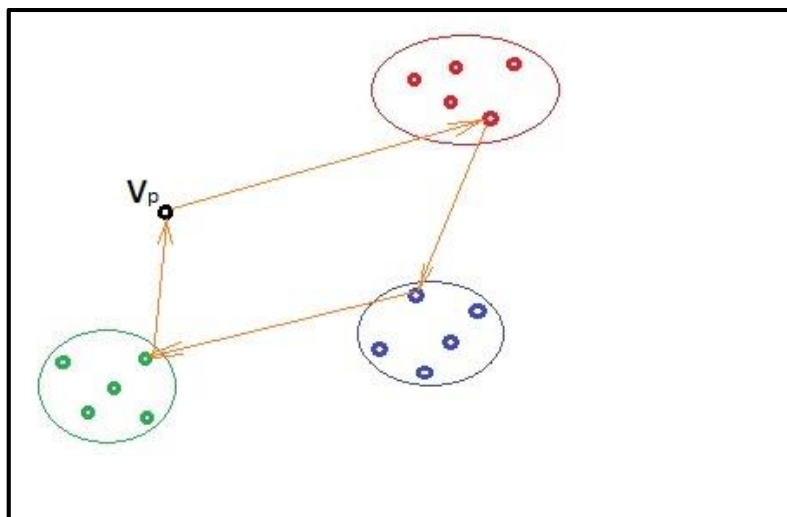


Obrázek 9 Cluster - nevyčerpaná kapacita vozidla [zdroj: autor]

Plánovač tento (oranžový) vrchol, který by mohl při zpáteční cestě obsloužit, hledá manuálně. Musí při tom poměrně pracně prověřovat volné kapacity zásobníků a tento proces je závislý zejména na jeho zkušenosti.

### 2.3.2.3 Cluster – okružní jízda

Není-li vhodný vrchol, dle předchozího popisu (2.3.2.2) nalezen, dochází k hledání vrcholů pro tvorbu okružní jízdy, která je naznačena na obrázku 10.



Obrázek 10 Cluster - okružní jízda [zdroj: autor]

Při tomto způsobu tvorby trasy nebudeme detailně prohledávat kapacity vrcholů jednotlivých Clusterů, abychom v nich provedli několik malých vykládek. To již není výhodné, jelikož víme, že celý objem produktu cisterny v jedné množině nestočíme a vozidlo bude muset i tak se zbytkem k zákazníkovi z jiného Clusteru. Naopak tedy chceme při naznačené okružní jízdě maximalizovat stočené množství, v tomto případě do tří vrcholů ze tří množin.

#### 2.3.2.4 Shrnutí

V předchozích odstavcích je popsán současný základní způsob tvorby rozvozových tras. Je jasné, že se v praxi nebude deterministicky odbývat jen v těchto třech způsobech, ale dochází k několika dalším variantám. Výše popsané však tvoří základní pravidla při plánování v popisované společnosti. S ohledem na to, že plánování distribuce společnost provádí dlouhodobě, je zřejmé, že tento současný používaný model musel být vyhodnocen jako funkční a výhodný. Z mého pohledu je využíváno několik optimalizačních principů (a není to systém špatný).

Zda lze současný stav optimalizovat se v diplomové práci pokusím prověřit.

### 3 Zvolení vybraného produktu pro distribuci

Je distribuováno pět rozdílných technických plynů (popsáno v tabulce 2, strana 17). Každý plyn má svou flotilu vozidel, které se pro jednotlivé produkty mezi sebou nezaměňují, tedy jednotlivé vozidlo vždy vozí stejný plyn. V regionu jsou dvě obslužná depa a velký počet aktivních zákazníků.

Pro optimalizaci distribuce, která s drobnými rozdíly mezi jednotlivými plyny, obslužnými depy a specifiky zákazníků, probíhá obdobně, je nutno úlohu zjednodušit. Pokusím se nalézt řešení

pro jeden distribuovaný produkt. Jestli se podaří optimalizovat v této podmnožině, mělo by být řešení použitelné i pro distribuci zbývajících produktů.

### **3.1 Výběr produktu pro optimalizaci**

V rámci zjednodušení se zaměřuji na obslužné depo: CZ – LT. Ještě je tedy nutno vybrat vhodný produkt z pěti distribuovaných. Při výběru budu zároveň sledovat data z tabulky 5 na straně 19.

#### **3.1.1 BHY**

Při distribuci stlačeného vodíku dochází ke dvěma typům závozu, kdy buď dochází po příjezdu ke stáčení produktu z vozidla operátorem (řidičem), nebo je návěs odstaven a připojen k zařízení zákazníka. V prvním případě provádí vozidlo (tahač + návěs) distribuci plynu z obslužného depa k jednomu, nebo více zákazníkům a vrací se zpět. Ve druhém případě se uskutečňuje distribuce z obslužného depa k jednomu zákazníkovi, kde dojde k výměně návěsů (plný z obslužného depa za prázdný u zákazníka).

Ze shromážděných dat dále víme, že při distribuci BHY je v průměru realizován pouze 1,16 závozu na jeden výjezd vozidla z terminálu CZ - LT. To znamená, že obsluhované vrcholy téměř vždy pojmu celou kapacitu vozidla a mnoho prostoru pro optimalizaci tras zde není.

#### **3.1.2 LCO2**

Kapalný oxid uhličitý je na daném terminálu v distribuci novým produktem. Atrakční obvod obsluhuje pouze jedno vozidlo a navíc toto bylo k obslužnému depu přiřazeno teprve v průběhu sledovaného období a tedy ani nemám plná data za celý rok.

#### **3.1.3 LAR**

U distribuce kapalného argonu se na terminálu, podobně jako u LCO2, jedná o malý vozový park vozidel. Obsluhu vrcholů zajišťují pouze 2 cisternové návěsy.

#### **3.1.4 LIN**

Pro distribuci kapalného dusíku je k dispozici nejvíce vozidel. Za sledované období bylo provedeno nejvíce jízd a závozu. V dodávkách nejsou výrazné rozdíly jako například u BHY a LOX a ve sledovaném období se průměrně uskutečňují více než dvě vykládky při jednom tripu vozidla.

#### **3.1.5 LOX**

U kapalného kyslíku jsou, podobně jako u BHY, rozdíly v distribuci. U tohoto produktu je rozdíl dán tím, že je v některých případech kyslík dodáván jako medicínální (MLX). Závozy medicínálního kyslíku při jednom tripu (výjezdu vozidla), není možné vždy spojit se závozem

kyslíku technického. Průměrný počet závozů na jeden trip je 1,33 a tedy vozidlo ve většině případů obslouží pouze jednoho zákazníka.

### 3.2 Vybraný produkt – LIN

Z popisu současného stavu distribuce plynů z obslužného depa CZ - LT (dle popisu v 3.1) se mi pro zvolení produktu k řešení optimalizace nejlépe jeví LIN, tedy kapalný dusík.

Na obrázku 11 je cisternový návěs pro distribuci kapalného dusíku (LIN). Na fotografii je zachyceno plnění zásobníku zákazníka.



Obrázek 11 Závoz kapalného dusíku cisternovým návěsem společnosti Air Products do statického zásobníku v závodě TRCZ v Lovosicích ze dne 4.5.2017 [zdroj: autor]

#### 3.2.1 Data pro vybraný produkt

Data pro LIN jsou sice zahrnuta v předchozích tabulkách, nicméně je pro přehlednost prezentuji samostatně, v následující tabulce 6.

Tabulka 6 Data pro vybraný produkt LIN [zdroj: autor]

Terminál: CZ - LT (835) během FY16	Počet cisternových návěsů	Aktivní zákazníci / obsluhované vrcholy	Dodané množství produktu [kg]	Počet tripů	Počet závozů	Dopravní výkon [km]	Průměrný počet závozů na jeden trip	Průměrné distribuované množství na jeden trip [kg]
Flotila LIN	8	124	27 734 539	1 270	2 805	560 958	2,21	21 838

Z tabulky lze také vyčíst, že osm LIN cisteren obsluhuje až 124 dep. Ročně je k tomu zapotřebí 1 270 tripů, při nichž je provedeno 2 805 závozu.

### 3.2.2 Vozový park – flotila LIN, obslužného depa CZ - LT

Osm cisternových návěsů pro přepravu kapalného dusíku z českého terminálu je vypsáno v následující tabulce 7.

**Tabulka 7** Vozidla LIN s aktuálním umístěním na terminál CZ - LT a jejich kapacity [zdroj: autor]

Vozidla LIN terminálu CZ - LT (835)	Typ cisterny	Kapacita vozidla 1 (2-osý tahač) [kg]	Kapacita vozidla 2 (3-osý tahač) [kg]
513821	Ferox Shark	22 500	23 700
515604	M1E (malá)*	15 500	15 500
515801	M1E Carrymore	24 800	24 800
515805	M1E Carrymore	24 800	24 800
515806	M1E Carrymore	24 800	24 800
515808	M1E Carrymore	24 800	24 800
515809	M1E Carrymore	24 800	24 800
51L828	Ferox Shark	22 500	23 700
<b>Celkem:</b>		<b>184 500</b>	<b>186 900</b>

Vozidla v daném terminálu nemají stejné kapacity, jedná se o heterogenní vozový park. Například cisterna flotilového označení 515604, se kapacitou výrazně liší od ostatních, je mnohem menší. Tento návěs je však svou konstrukcí a rozměry vhodný pro závozy k zákazníkům s omezeným prostorem pro manévrování, nebo do městských oblastí, jejich center anebo například do nemocnic. Při větší vzdálenosti závozu je pak svou malou kapacitou tento cisternový návěs neefektivní.

Z tabulky lze dále vyčíst, že kromě jedné malé cisterny, jsou na terminálu aktuálně umístěny dva typy cisteren (Ferox Shark a M1E Carrymore), které jsou rozdílných kapacit. U cisteren Ferox lze při spojení s tříosým tahačem kapacitu cisterny zvýšit, to je v tabulce vidět u hodnot: Kapacita vozidla 2.

Kdyby došlo k výjezdu všech LIN cisteren terminálu CZ – LT, každá na jeden trip, bylo by možno uskutečnit distribuci více než 184 tun kapalného dusíku. To se však v praxi běžně neděje.



### 3.3 Heterogenní vozový park

Pro doplnění představy heterogenní flotily dvou obslužných dep jsou v následující tabulce 8 vypsány LIN cisterny polského terminálu PL – KK.

**Tabulka 8** Vozidla LIN s aktuálním umístěním na terminál PL - KK a jejich kapacity [zdroj: autor]

Vozidla LIN terminálu PL - KK (821)	Typ cisterny	Kapacita vozidla [kg]
513806	AP Acrefair	21 600
513820	Ferox Shark	20 500
514021	Ferox Shark	20 500
514022	Ferox Shark	20 500
514031	Cryolor	10 400
514602	CryoAB AGA	23 400
514608	CryoAB AGA	23 400
514612	CryoAB AGA	23 400
515804	Ferox Shark	20 500
515807	M1E Carrymore	24 600
511829	Ferox Shark	20 500
<b>Celkem:</b>		<b>229 300</b>

Skladba typů cisteren je oproti českému terminálu (v tabulce 7) odlišná. I na tomto obslužném depu je umístěna jedna menší cisterna (514031), pro zajištění problematických závozů s rozměrovým omezením pro zavážející vozidlo.

Po umístění všech LIN cisteren z obou terminálů do následující tabulky 9, je zjevné, že je vozový park tvořen zejména třemi základními typy (Ferox Shark, CryoAB AGA a M1E Carrymore), které tvoří 84% flotily.

**Tabulka 9** Heterogenní vozový park dvou terminálů CE [zdroj: autor]

Vozidla LIN flotila CEE	PL KK (821)	CZ LT (835)	Celkem:
Ferox Shark	5	2	7
CryoAB AGA	3	0	3
M1E Carrymore	1	5	6
Jiné	2	1	3
<b>Celkem:</b>	<b>11</b>	<b>8</b>	<b>19</b>

Při znalosti technických parametrů těchto cisteren a legislativy, si je můžeme s ohledem na kapacity a přiřazení k jednotlivým terminálům porovnat.

### 3.3.1 Rozdílné kapacity cisteren LIN

Jednotlivé typy cisteren mají konstrukčně dané kapacity [kg; m<sup>3</sup>] přepravovaného produktu. Ty bývají obvykle vyšší, než váhové omezení dle místních zákonů o provozech na pozemních komunikacích v zemích, kde jsou vozidla provozována.

V převážné většině států EU je pro námi popisované soupravy, složené z tahače a tříosého nákladního návěsu, dán limit 40 tun (při dalším dodržení rozvorů a zatížení na jednotlivé nápravy atd.). V několika zemích, jako například ve Velké Británii, Holandsku, ale i České republice, jsou tyto limity vyšší.

Konkrétně v ČR je povolena maximální hmotnost soupravy až 48 tun. Pro náš region jsou data v tabulce 10.

**Tabulka 10**                      **Legislativní váhové omezení nákladní soupravy se tříosým návěsem [zdroj: autor]**

Stát:	Počet os tahače	
	2	3
ČR	42 t	48 t
PL	40 t	40 t
SK	40 t	40 t

Pro tři základní typy cisteren jsem s ohledem na konstrukční a legislativní omezení sestavil následující tabulku 11. V kolonce W jsou uvedeny maximální možné hmotnosti přepravovaného kapalného dusíku, podle jednotlivých cisteren, zemí přepravy a použitého tahače.

Tabulka 11

Váhové kapacity tří základních typů cisternových návěsů při přepravě kapalného dusíku [zdroj: autor]

												↓
												W
Model cisterny	Výrobce	A	B	C	Země	tahac & počet náprav	D	E	F	G	H	MAX možná hm. náplně PAYLOAD; [kg] (konstrukční nebo legislativní max) W = C nebo G menší z hodnot
		Hmotnost prázdné (Tare) [kg]	Maximální hmotnost včetně náplně [kg]	Konstrukčně možná hmotnost náplně [kg] (bez ohledu na legislativní omezení)			Hmotnost tahače [kg] (spící kabína)	Kombinace (tahač+návěs) prázdné (Tare weight) [kg] A + D	Kombinace (tahač+návěs) plné [kg] dle místní legislativy	Legislativně možná hmotnost náplně [kg] (bez ohledu na konstrukční omezení) F - E	Celková hmotnost; [kg] tahač + návěs + náklad E + W	
Carrymore II	M1E	8 200	33 000	24 800	PL	2	7 200	15 400	40 000	24 600	40 000	24 600
Carrymore II	M1E	8 200	33 000	24 800	CZ	2	7 200	15 400	42 000	26 600	40 200	24 800
Carrymore II	M1E	8 200	33 000	24 800	CZ	3	7 800	16 000	48 000	32 000	40 800	24 800
LIN33 Shark	FEROX	12 300	36 000	23 700	PL	2	7 200	19 500	40 000	20 500	40 000	20 500
LIN33 Shark	FEROX	12 300	36 000	23 700	CZ	2	7 200	19 500	42 000	22 500	40 000	22 500
LIN33 Shark	FEROX	12 300	36 000	23 700	CZ	3	7 800	20 100	48 000	27 900	43 800	23 700
Gungner	CryoAB AGA	9 400	34 000	24 600	PL	2	7 200	16 600	40 000	23 400	40 000	23 400
Gungner	CryoAB AGA	9 400	34 000	24 600	CZ	2	7 200	16 600	42 000	25 400	41 200	24 600
Gungner	CryoAB AGA	9 400	34 000	24 600	CZ	3	7 800	17 200	48 000	30 800	41 800	24 600

Důležité hmotnostní údaje jsou ve sloupcích barevně zvýrazněny. Zelené zvýraznění upozorňuje na hodnoty nejlepší. Například: A – nejlehčí prázdné vozidlo je M1E Carrymore, nebo: B - včetně nákladu lze konstrukčně dosáhnout nejvyšší hmotnosti návěsu.

Červená barva znamená naopak hodnoty nejhorší a kolonka W říká, že nejméně kapalného dusíku lze naplnit do cisterny Ferox Shark a to v kombinaci s dvouosým tahačem a při provozu v Polsku. Žluté zvýraznění je pro střední hodnoty, mezi zelenou a červenou.

### 3.3.2 Možnost optimalizace

Z výše popsaného v bodě 3.3 a znázorněného v jednotlivých tabulkách, hlavně pak v tabulce 11, by bylo možno navrhnout několik optimalizačních opatření.

Přemístěním cisteren mezi jednotlivými terminály by se dalo dosáhnout zvýšení kapacity vozidel a tedy i celkového vyššího přepravního výkonu. Nejzřetelnější je to u cisteren Ferox Shark, kterých je na terminálu PL – KK celkem pět. Při provozování těchto cisteren z polského obslužného depa je možné jejich plnění pouze na omezenou hmotnost. Kdyby však cisterny Ferox Shark byly umístěny na terminál český, zvýší se jejich kapacita o nejméně dvě tuny.

Tímto bych možnosti optimalizace přemístěním cisteren mezi depy, vycházející z heterogenního vozového parku a legislativních rozdílů jednotlivých států uzavřel, bez dalšího vyhodnocování.



## 4 Využití aparátu teorie grafů pro distribuci technických plynů s heterogenním vozovým parkem

Popisovaná distribuce technických plynů k jednotlivým zákazníkům znamená obsluhu vrcholů sítě. Úloha se řeší v souvislé, neorientované a hranově ohodnocené dopravní síti  $S = (V, H)$ . Z pohledu teorie grafů se jedná o úlohu obchodního cestujícího (Traveling Salesman), respektive úlohy vícenásobného obchodního cestujícího. Chceme nalézt takové řešení, abychom minimalizovali dopravní výkon, tedy aby ujeté kilometry vozidel byly minimální. Je nutno řešit problém okružních jízd (VRP / Vehicle Routing Problem).

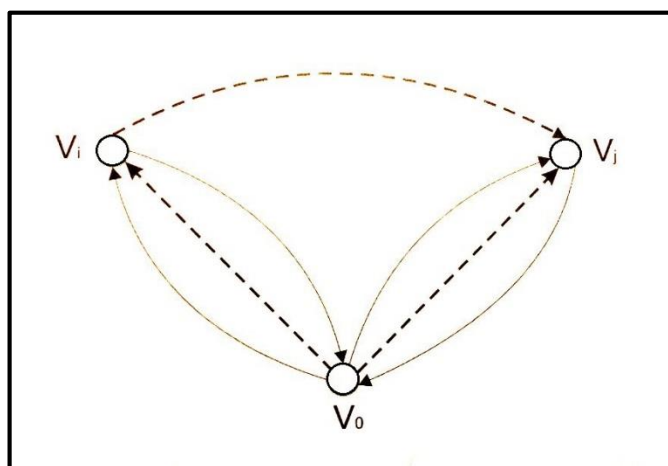
Nejprve se pokusím z nashromážděných dat o uskutečněných závozech prověřit, zda by šlo tyto s ohledem na dopravní výkon provést lépe.

### 4.1 Porovnání uskutečněných tras s výsledkem algoritmu Clark & Wright

Pro obě obslužná depa (CZ – LT a PL - KK) mám k dispozici, v textu již zmiňovaná (kapitola 2.2, strana 18), data za období jednoho roku a to od 1.10.2015 do 30.9.2016. Tyto obsahují také údaje o uskutečněných trasách a mohu provést porovnání s algoritmem C&W.

#### 4.1.1 Princip metody Clark & Wright

O okružní jízdě hovoříme tehdy, je-li kapacita obslužného vozidla dostatečná na obsluhu více než jednoho požadavku. Algoritmus na řešení úlohy vyvinuli Clarke a Wright. Podstatou metody je úvaha, vysvětlená na následujícím obrázku 12. [1]



Obrázek 12 Princip metody Clark & Wright [1]

Nejprve uvažujeme, že bude každý vrchol ( $v_i$  a  $v_j$ ) obslužen jedním vozidlem, které se pak vrátí zpět do obslužného vrcholu  $v_0$ . Tomuto řešení odpovídají cykly  $\{v_0, v_i, v_j\}$  a  $\{v_0, v_j, v_0\}$ . Za předpokladu, že je kapacita vozidla dostačující k obsluze obou vrcholů jednou jízdou, je na místě otázka, jestli by nebylo výhodnější namísto dvou uvedených cyklů zavést cyklus jeden,

zahrnující oba obsluhované vrcholy  $\{v_o, v_i, v_j, v_o\}$ . K rozhodnutí využijeme porovnání vzdáleností obou variant řešení [1].

V prvním případě se náklady rovnají:  $d_{oi} + d_{io} + d_{oj} + d_{jo}$ , ve druhém potom:  $d_{oi} + d_{ij} + d_{jo}$ , resp.  $d_{oj} + d_{ji} + d_{io}$ . Vytvoření jediného cyklu bude výhodné pouze v případě platnosti nerovnosti:  $\geq$

$$d_{oi} + d_{io} + d_{oj} + d_{jo} \geq d_{oi} + d_{ij} + d_{jo}. \quad (1)$$

Od obou stran nerovnosti odečteme  $d_{oi}$  a  $d_{jo}$  a dostaneme:

$$d_{io} + d_{oj} \geq d_{ij}. \quad (2)$$

Označíme-li  $\lambda_{ij} = d_{io} + d_{oj} - d_{ij}$ , je zřejmé, že vytvoření cyklu připadá v úvahu pouze pro ty vrcholy  $v_i$  a  $v_j$ , pro které je  $\lambda_{ij} \geq 0$  [1].

Ze zadání úlohy vyplývají dvě podmínky přípustnosti jejího řešení [3]:

- $\alpha$ : každý zákazník musí být v rámci některé trasy obslužen právě jednou
- $\beta$ : musí být respektována omezená kapacita obsluhujících vozidel

Potud tedy citace principu metody C&W, jež slouží k vysvětlení mého následného řešení, kde  $\lambda_{ij}$  jsou úspory dopravního výkonu:

$$\lambda_{ij} = d_{io} + d_{oj} - d_{ij} \quad (3)$$

#### 4.1.2 Vytvoření modelu

Před samotným porovnáním se skutečně provedenými závozy, jsem si nejprve vytvořil model pro řešení algoritmem C&W (v programu excel), který vychází z výše popsaného a skládá se ze:

- $d_{ij}$  – distanční matice (13 x 13)
  - Sestávající z obslužného depa  $v_{00}$  a dvanácti obsluhovaných vrcholů  $v_{01}$  až  $v_{12}$
- $\lambda_{ij}$  – matice úspor
  - Která vychází ze vztahu:  $\lambda_{ij} = d_{io} + d_{oj} - d_{ij}$
- $y_{ij}$  – hrany v řešení

Modelovou situaci představuji na modelu. Obsluhovanými vrcholy jsou vygenerovaná místa na území České republiky (přibližně odpovídajícím vrcholům v atrakčním obvodu českého terminálu), jimž jsem navolil volné kapacity v jejich zásobnících na technické plyny [m<sup>3</sup>]. Vzdálenosti mezi jednotlivými vrcholy jsem dohledal na [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz) a doplnil do matice vzdáleností [km], která je na obrázku 13.

$d_{ij}$ vzdálenosti	$m^3$	Požadavek závozu													
		Litvínov	Praha 5	Chomutov	Rakovník	Žebrák	Ústí n. L.	Č. Budějovice	Benešov	Teplice	Plzeň	Praha 1	Most	Liberec	
		v00	v01	v02	v03	v04	v05	v06	v07	v08	v09	v10	v11	v12	
Litvínov	v00	0	102	27	71	129	44	251	150	24	116	98	14	140	
Praha 5	v01	10	102	0	96	61	46	104	153	53	107	87	12	91	119
Chomutov	v02	20	27	96	0	58	123	66	247	145	48	102	92	24	161
Rakovník	v03	18	71	61	58	0	39	112	212	110	79	63	60	58	169
Žebrák	v04	6	129	46	123	39	0	139	129	93	142	44	49	118	163
Ústí n. L.	v05	12	44	104	66	112	139	0	236	136	23	180	91	46	96
Č. Budějovice	v06	12	251	153	247	212	129	236	0	103	238	138	149	241	249
Benešov	v07	30	150	53	145	110	93	136	103	0	138	135	49	140	149
Teplice	v08	8	24	107	48	79	142	23	238	138	0	129	93	28	117
Plzeň	v09	20	116	87	102	63	44	180	138	135	129	0	91	102	205
Praha 1	v10	15	98	12	92	60	49	91	149	49	93	91	0	88	113
Most	v11	4	14	91	24	58	118	46	241	140	28	102	88	0	141
Liberec	v12	16	140	119	161	169	163	96	249	149	117	205	113	141	0

Obrázek 13 Matice vzdáleností modelu pro metodu C&W v programu excel [zdroj: autor]

- Do matice úspor  $\lambda_{ij}$  jsou vloženy vzorce ( $\lambda_{ij} = d_{i0} + d_{0j} - d_{ij}$ ), pomocí kterých lze dohledat maximální úsporu najetých kilometrů, tato je programem zeleně zvýrazněna, což je vidět na obrázku 14.

$\lambda_{ij}$ úspora	$m^3$	Požadavek závozu												$\gamma_i$ hrany v řešení			
		Litvínov	Praha 5	Chomutov	Rakovník	Žebrák	Ústí n. L.	Č. Budějovice	Benešov	Teplice	Plzeň	Praha 1	Most		Liberec		
		v00	v01	v02	v03	v04	v05	v06	v07	v08	v09	v10	v11	v12			
Litvínov	v00														Litvínov	v00	
Praha 5	v01	10													Praha 5	v01	1
Chomutov	v02	20	33												Chomutov	v02	1
Rakovník	v03	18	33	40											Rakovník	v03	1
Žebrák	v04	6	185	33	161										Žebrák	v04	1
Ústí n. L.	v05	12	43	6	4	35									Ústí n. L.	v05	1
Č. Budějovice	v06	12	200	31	110	251	60								Č. Budějovice	v06	1
Benešov	v07	30	199	32	111	186	59	298							Benešov	v07	1
Teplice	v08	8	19	3	16	11	46	37	36						Teplice	v08	1
Plzeň	v09	20	131	41	124	201	-19	229	131	11					Plzeň	v09	1
Praha 1	v10	15	188	33	109	178	52	200	199	29	123				Praha 1	v10	1
Most	v11	4	25	17	27	25	13	24	24	10	28	24			Most	v11	1
Liberec	v12	16	123	6	42	106	89	142	141	47	51	125	13		Liberec	v12	1
Celkem $m^3$		171												Maximum:	298		

Obrázek 14 Matice úspor dopravního výkonu modelu pro metodu C&W v programu excel [zdroj: autor]

Nyní mám základní potřebná data pro zpracování úlohy. Budu tvořit jednotlivé trasy, ve kterých dojde k obsluze vrcholů. Řekněme, že se jedná o běžný distribuční den a chci vytvořit trasy tak, aby byl výsledný dopravní výkon co nejmenší.

Pro obsluhu vrcholů si v modelu vyčlením osm LIN cisternových návěsů, tedy období reálného stavu pro terminál CZ – LT. Příprava pro zpracování úlohy je na obrázku 15.

KAPACITY CISTEREN LIN:		33	33	33	33	30	30	30	25	m <sup>3</sup>	
ID Cisterny:		1	2	3	4	5	6	7	8		
Trasy / Tripy:	zásobník: m <sup>3</sup>	Okružní jízda:				km:	Cisterna: m <sup>3</sup>	Zbytek	Cisterna prázdná: Y / N	C&W (y <sub>i</sub> ):	
1.							N.A.		N.A.		
2.							N.A.		N.A.		
3.							N.A.		N.A.		
4.							N.A.		N.A.		
5.							N.A.		N.A.		
6.							N.A.		N.A.		
...							N.A.		N.A.		
<b>Celkem:</b>		<b>0 m<sup>3</sup></b>				<b>0 km</b>		Zbytek: <b>0</b>			

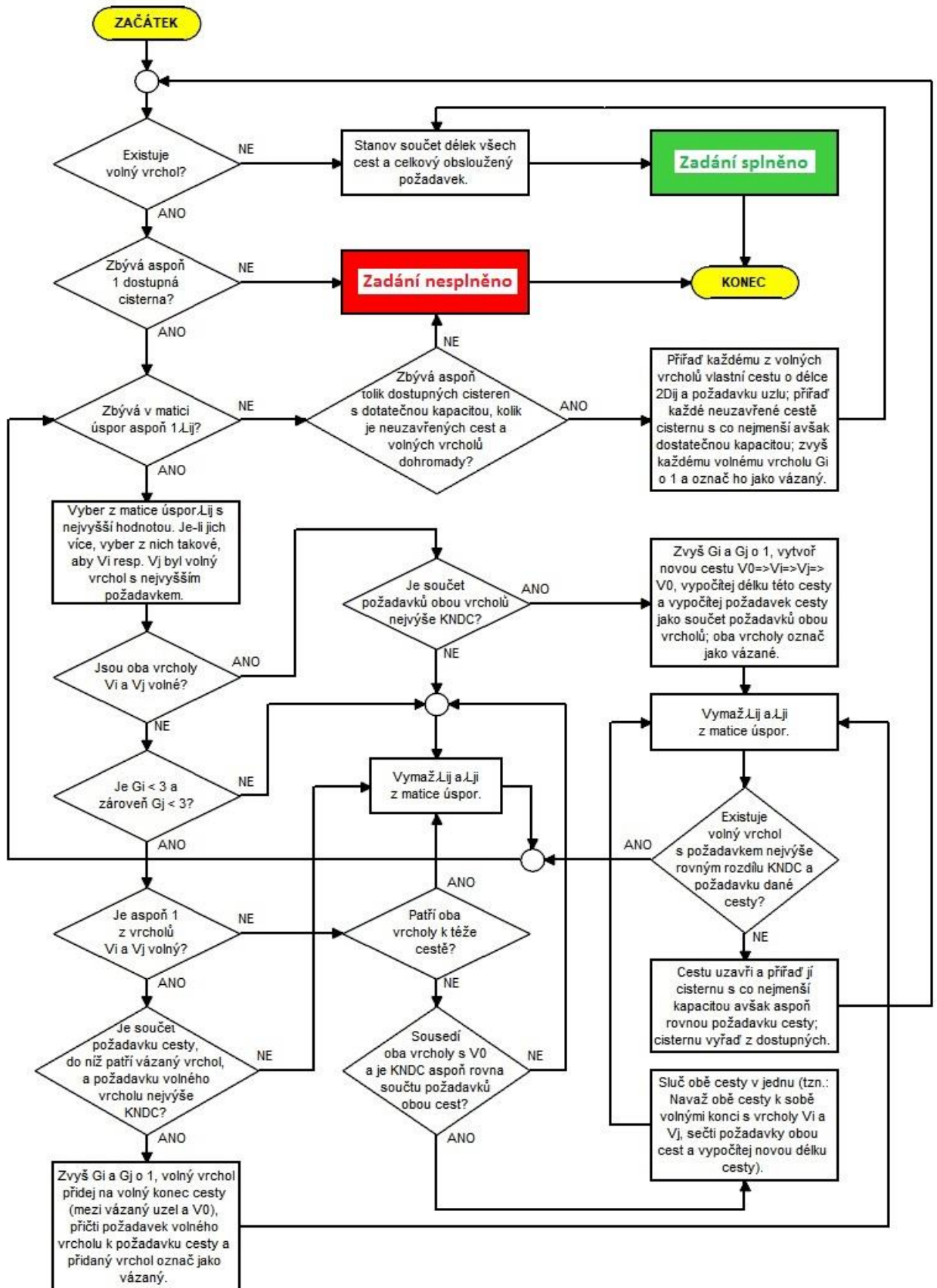
Obrázek 15 Příprava pro zpracování modelu C&W [zdroj: autor]

Nyní sestavení algoritmu řešení.

#### 4.1.2.1 Algoritmus řešení modelu

Nejprve zaokrouhlím kapacity vozidel i zákazníků na celé m<sup>3</sup> (nebo na tuny). Tento krok není nezbytný, činím tak pro lepší přehlednost postupu řešení. V algoritmu budu sdružovat trasy jednotlivých uzlů a to dle úspor  $\lambda_{ij}$  a při dodržení podmínek  $\alpha$  a  $\beta$ . Postup algoritmu vysvětluji v příloženém vývojového diagramu na obrázku 16.





Obrázek 16

Vývojový diagram algoritmu C&W pro řešení modelu [zdroj: autor]

Vysvětlení k diagramu:

- KNDC = kapacita největší dostupné cisterny
- vázaný vrchol = vrchol obsloužený
- volný vrchol = vrchol neobsloužený
- volný konec tvoří vrchol navázaný na  $v_0$

Nyní lze výše popsané aplikovat na vytvořený model.

#### 4.1.2.2 Postup řešení

Postupujeme dle kroků v popsaném algoritmu:

1. Největší  $\lambda_{ij}$  je úspora 298 km, při vytvoření cyklu: Litvínov – Č.Budějovice – Benešov – Litvínov, tedy:  $\{v_{00}, v_{06}, v_{07}, v_{00}\}$ . Na této trase je však zapotřebí doplnit 42 m<sup>3</sup> produktu ( $c_{06} = 12$  m<sup>3</sup>,  $c_{07} = 30$  m<sup>3</sup>) a k tomu není svou kapacitou dostupné žádné z vozidel. Vymažte tedy dané úspory  $\lambda_{ij}$  a  $\lambda_{ji}$  z matice úspor.
2. Nyní je největší  $\lambda_{ij} = 251$  km, při vytvoření cyklu: Litvínov – Č.Budějovice – Žebrák – Litvínov, tedy:  $\{v_{00}, v_{06}, v_{04}, v_{00}\}$ . Je zapotřebí doplnit 18 m<sup>3</sup> ( $c_{06} = 12$  m<sup>3</sup>,  $c_{04} = 6$  m<sup>3</sup>). Přiřadíme tedy vrcholy do trasy 1., spojení vrcholů  $v_{06}$ ,  $v_{04}$  zaznamenám do tabulky hran v řešení ( $y_{ij}$ ) a vymažte související úspory.
3. Nabízí se  $\lambda_{ij} = 229$  km, při vytvoření cyklu: Litvínov – Č.Budějovice – Plzeň – Litvínov, tedy:  $\{v_{00}, v_{06}, v_{09}, v_{00}\}$ . Jelikož vrchol  $v_{06}$  je již vázaný do trasy č.1, nabízí se možnost do této trasy přidat i vrchol  $v_{09}$ . Požadovaná kapacita pro  $v_{09}$  je však 20 m<sup>3</sup> na což při součtu s kapacitami vrcholů  $v_{06}$  a  $v_{04}$  není svou kapacitou dostupné žádné z vozidel. Vymažeme úspory ( $\lambda_{ij}$ ).
4. Při úspoře 201 km je možnost spojit Žebrák s Plzní, což však znamená stejný výsledek jako v kroku 3, tedy přidat  $v_{09}$  do trasy č.1., na což není kapacita žádného vozidla. Vymažeme úspory.
5. Největší úspora  $\lambda_{ij} = 200$  km nyní nabízí spojení Č.Budějovic a to buď s Prahou 1, nebo Prahou 5. Vybírám uzel  $v_{10}$  (Praha 1) a přidám do trasy č.1. Navázání vrcholů  $v_{06}$  a  $v_{10}$  zaznamenám do tabulky hran v řešení ( $y_{ij}$ ) a přiřadím cisternu ID:1 o kapacitě 33 m<sup>3</sup>. Jelikož je trasa kompletně obsazena, zbývá určit pořadí vrcholů. Z tabulky  $y_{ij}$  je zřejmé, že nejvýhodnější spojení vychází pro  $v_{06}$  se  $v_{04}$  (ČB+Ž) a  $v_{06}$  se  $v_{10}$  (ČB+P1), vrchol  $v_{06}$  tedy bude na trase mezi vrcholy  $v_{04}$  a  $v_{10}$ . Výsledná trasa je nakonec:  $\{v_{00}, v_{04}, v_{06}, v_{10}, v_{00}\}$ , ale může být i v obráceném pořadí:  $\{v_{00}, v_{10}, v_{06}, v_{04}, v_{00}\}$ , neboť oběma směry vychází stejný dopravní výkon.

Zde popis řešení modelové úlohy přeruším. Je sestavena první trasa  $\{v_{00}, v_{04}, v_{06}, v_{10}, v_{00}\}$  a k ní je přiřazeno vozidlo ID:1. Následujícími kroky se přiřazováním vrcholů tvoří další trasy,

pro něj je pak přidáno vozidlo. Postup je vysvětlen, je shodný s popsáním algoritmem v kapitole 4.1.2.1.

Výsledek celého zpracování modelové úlohy je v následující kapitole 4.1.2.3.

### 4.1.2.3 Výsledek

Po zpracování je výsledek znázorněn na obrázku 17.

KAPACITY CISTEREN LIN:		<table border="1"> <tr> <td>33</td><td>33</td><td>33</td><td>33</td><td>30</td><td>30</td><td>30</td><td>25</td><td>m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td></td> </tr> </table>								33	33	33	33	30	30	30	25	m <sup>3</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	
33	33	33	33	30	30	30	25	m <sup>3</sup>																			
1	2	3	4	5	6	7	8																				
ID Cisterny:																											
Trasy / Tripy:	Váz.vrch./zás.: m <sup>3</sup>	Okružní jízda:		km:	Cisterna:	m <sup>3</sup>	≡ Zbytek	Cisterna	prázdná: Y / N	C&W (yí):																	
1.	v4-v6-v10	33	0-4-6-10-0	505	1	33	0	Y		4-6	6-10																
2.	v1-v9	30	0-1-9-0	305	5	30	0	Y		1-9																	
3.	v5-v12	28	0-5-12-0	281	7	30	2	N		5-12																	
4.	v8-v3-v11	30	0-8-3-11-0	175	6	30	0	Y		3-11	3-8																
5.	v02	20	0-2-0	54	8	25	5	N																			
6.	v07	30	0-7-0	300	2	33	3	N																			
...							N.A.		N.A.																		
<b>Celkem: 171 m<sup>3</sup></b>		<b>1620 km</b>		Zbytek: 10	6%																						

Obrázek 17 Výsledek modelu [zdroj: autor]

Vidíme, že první trasu tvoří okružní jízda: {v<sub>00</sub>, v<sub>04</sub>, v<sub>06</sub>, v<sub>10</sub>, v<sub>00</sub>}, vozidlo při obsluze ujede 505 km. Kapacita vozidla 33 m<sup>3</sup> je plně využita, je nulový zbytek a cisterna se vrátí prázdná.

Pátou trasu tvoří obsluha jediného uzlu v<sub>02</sub>, dopravní výkon činí 54 km a po přiřazení vozidla (ID: 8) o kapacitě 25 m<sup>3</sup> zůstává v cisterně zbytek 5 m<sup>3</sup>.

Výsledek řešení modelu není z pohledu hodnot důležitý, neboť neřeší reálnou situaci. Nicméně doplňuji vysvětlení:

- K rozvozům bylo naplánováno šest tras a tedy i využito šest cisteren
- Dopravní výkon činí: 1 620 km (při distribuci 171 m<sup>3</sup> produktu)
- Dvě trasy (5. a 6.) tvoří obsluhu pouze jednoho vrcholu. Zbytek tras tvoří okružní jízdy
- U tří ze šesti cisteren se nepodařilo plně využít kapacitu vozidla, což tvoří 6% z celkového rozvezeného množství

Dále bychom mohli spočítat například přepravní výkon, ale to není účelem, optimalizujeme dopravní výkon.

### 4.1.2.4 Shrnutí

Popsaný model by bylo s ohledem na jeho zpracování pravděpodobně možné sofistikovat, nebo i zvolit zpracování jiným programem. Jednotlivé kroky jsou prováděny manuálně, až do vyřešení úlohy. Nicméně je to model funkční a použiji ho v následném porovnání s uskutečněnými trasami ve společnosti AP.

### 4.1.3 Porovnání uskutečněných tras s popsaným algoritmem C&W

Na porovnání výsledků řešení algoritmem si pro oba terminály vybírám běžný pracovní den, jímž je pondělí, 15.8.2016.

#### 4.1.3.1 Data o uskutečněných závozech vybraného dne

V tabulce 12 jsou důležité údaje pro porovnání.

Tabulka 12 Skutečně realizovaná distribuce ze dne 15.8.2016 [zdroj: autor]

15.8.2016	Počet tripů / cisteren	Počet uskutečněných závozů	Dodané množství [kg]	Dopravní výkon [km]
CZ - LT	4	11	98 449	1 487
PL - KK	4	8	84 980	1 141
Celkem:	8	19	183 429	2 628

Počet uskutečněných závozů, stejně jako dodané množství, budou zachovány. Zajímavý však bude výsledek dopravního výkonu, ale i zda se bude lišit počet tripů, respektive vozidel potřebných k obsluze.

Pro oba terminály bylo dne 15.8.2016 zapotřebí osm vozidel a dopravní výkon byl 2 628 km.

Shodně s postupem popsaným ve 4.1.2 tedy nyní pro oba terminály vyřeším obsluhu uzlů dle reálných dat daného dne. Oproti modelu nejsou kapacity vozidel i zásobníků zákazníků udávány v objemových (m<sup>3</sup>), ale v hmotnostních jednotkách.

#### 4.1.3.2 Český terminál: CZ – LT, 15.8.2016

Obsloužení zákazníci, včetně požadovaného množství, jsou vypsáni v distanční matici na obrázku 18.



$d_{ij}$ vzdálenosti		Požadavek závozu		V-LB LITVINOV TERM.	RUBNÁČZT, CALL	WIKOHRON, LIN	KASPZTHP, LIN	SIEVDOTR, ORD	SIEMENTR, LIN	PIVOHRZT, LIN	BEHMNSTR, GEN	AGRDOB17, LIN	CHADĚČ22, LIN	CHADĚČ39, LIN	ALCDĚČZT, LIN
		kg		v00	v01	v02	v03	v04	v05	v06	v07	v08	v09	v10	v11
V-LB LITVINOV TERM.	v00			0	242	248	251	206	245	169	123	152	66	61	73
RUBNÁČZT, CALL	v01	13 226		242	0	8	30	32	32	111	108	108	183	183	183
WIKOHRON, LIN	v02	11 474		248	8	0	26	28	0,1	111	109	111	182	182	182
KASPZTHP, LIN	v03	16 714		251	30	26	0	4	4,7	90	87	93	158	158	158
SIEVDOTR, ORD	v04	2 796		206	32	28	4	0	0,1	86	83	88	154	154	154
SIEMENTR, LIN	v05	5 190		245	32	0,1	4,7	0,1	0	86	83	88	154	154	154
PIVOHRZT, LIN	v06	2 779		169	111	111	90	86	86	0	3	22	74	74	74
BEHMNSTR, GEN	v07	15 957		123	108	109	87	83	83	3	0	26	77	77	77
AGRDOB17, LIN	v08	5 761		152	108	111	93	88	88	22	26	0	88	88	88
CHADĚČ22, LIN	v09	737		66	183	182	158	154	154	74	77	88	0	0,1	0,4
CHADĚČ39, LIN	v10	16 445		61	183	182	158	154	154	74	77	88	0,1	0	0,1
ALCDĚČZT, LIN	v11	7 370		73	183	182	158	154	154	74	77	88	0,4	0,1	0
Celkem kg			98 449												

Obrázek 18 Matice vzdáleností terminálu CZ – LT ze dne 15.8.2016, pro metodu C&W v programu excel [zdroj: autor]

Matice úspor, dle již popisovaného vztahu:  $\lambda_{ij} = d_{i0} + d_{0j} - d_{ij}$ , je na obrázku 17.

$\lambda_{ij}$ úspora		Požadavek závozu		V-LB LITVINOV TERM.	RUBNÁČZT, CALL	WIKOHRON, LIN	KASPZTHP, LIN	SIEVDOTR, ORD	SIEMENTR, LIN	PIVOHRZT, LIN	BEHMNSTR, GEN	AGRDOB17, LIN	CHADĚČ22, LIN	CHADĚČ39, LIN	ALCDĚČZT, LIN	$\gamma_i$ hrany v řešení			
		t		v00	v01	v02	v03	v04	v05	v06	v07	v08	v09	v10	v11	V-LB LITVINOV TERM.	v00		
V-LB LITVINOV TERM.	v00																		
RUBNÁČZT, CALL	v01	13			482	463	416	455	300	257	286	125	120	132		RUBNÁČZT, CALL	v01	1	
WIKOHRON, LIN	v02	11		482	473	426	493	306	262	289	132	127	139		WIKOHRON, LIN	v02	1		
KASPZTHP, LIN	v03	17		463	473	453	491	330	287	310	159	154	166		KASPZTHP, LIN	v03	1		
SIEVDOTR, ORD	v04	3		416	426	453	451	289	246	270	118	113	125		SIEVDOTR, ORD	v04	1		
SIEMENTR, LIN	v05	5		455	493	491	451	328	285	309	157	152	164		SIEMENTR, LIN	v05	1		
PIVOHRZT, LIN	v06	3		300	306	330	289	328	289	299	161	156	168		PIVOHRZT, LIN	v06	1		
BEHMNSTR, GEN	v07	16		257	262	287	246	285	289	249	112	107	119		BEHMNSTR, GEN	v07	1		
AGRDOB17, LIN	v08	6		286	289	310	270	309	299	249	130	125	137		AGRDOB17, LIN	v08	1		
CHADĚČ22, LIN	v09	1		125	132	159	118	157	161	112	130	127	139		CHADĚČ22, LIN	v09	1		
CHADĚČ39, LIN	v10	16		120	127	154	113	152	156	107	125	127	134		CHADĚČ39, LIN	v10	1		
ALCDĚČZT, LIN	v11	7		132	139	166	125	164	168	119	137	139	134		ALCDĚČZT, LIN	v11	1		
Celkem t			98												Maximum:		492,9		

Obrázek 19 Matice úspor dopravního výkonu terminálu CZ – LT ze dne 15.8.2016, pro metodu C&W v programu excel [zdroj: autor]

V přípravě pro zpracování dat, na obrázku 20, je k dispozici osm cisternových návěsů, tedy reálný stav, který lze porovnat s tabulkou 7 (v kapitole 3.2.2).

KAPACITY CISTEREN LIN:		23	16	25	25	25	25	25	23	t	
ID Cisterny:		1	2	3	4	5	6	7	8		
Trasy / Tripy:	zásobník: t	Okružní jízda: km:		Cisterna: t		Zbytek		Cisterna prázdná: Y / N		C&W (y <sub>i</sub> ):	
1.											
2.											
3.											
4.											
5.											
6.											
...											
<b>Celkem:</b>		<b>0 t</b>		<b>0 km</b>		<b>Zbytek: 0</b>					

Obrázek 20 Příprava pro zpracování úlohy terminálu CZ - LT ze dne 15.8.2016, C&W [zdroj: autor]

Řešení úlohy není nutno krok po kroku vysvětlovat, postup vychází z popisovaného algoritmu (v kapitole 4.1.2).

Výsledek úlohy je na obrázku 21.

KAPACITY CISTEREN LIN:		23	16	25	25	25	25	25	23	t	
ID Cisterny:		1	2	3	4	5	6	7	8		
Trasy / Tripy:	Vázané vrcholy / zásobník: t	Okružní jízda: km:		Cisterna: t		Zbytek		Cisterna prázdná: Y / N		C&W (y <sub>i</sub> ):	
1.	v02-v05-v08	22	0-2-5-8-0	488	8	23	1	N	2-5	5-8	
2.	v09-v06-v03-v04	24	0-9-6-3-4-0	440	3	25	1	N	3-4	3-6	6-9
3.	v10-v11	23	0-10-11-0	134	1	23	0	Y	10-11		
4.	v01	13	0-1-0	484	2	16	3	N			
5.	v07	16	0-7-0	246	4	25	9	N			
6.						N.A.		N.A.			
...						N.A.		N.A.			
<b>Celkem:</b>		<b>98 t</b>		<b>1792,2 km</b>		<b>Zbytek: 14</b>		<b>14%</b>			

Obrázek 21 Výsledek úlohy terminálu CZ - LT ze dne 15.8.2016, metodou C&W [zdroj: autor]

Výsledky:

- K rozvozům bylo naplánováno pět tras a tedy i pět cisteren
- Dopravní výkon činí: 1 792 km (při distribuci 98 t produktu)
- Dvě trasy (4. a 5.) tvoří obsluhu pouze jednoho vrcholu. Zbytek tras tvoří okružní jízdy
- U čtyř z pěti cisteren se nepodařilo plně využít kapacitu vozidla, což tvoří 14% z celkového množství rozvezeného produktu

Samotné hodnoty výsledku nyní porovnáme s reálnými daty daného dne. To je provedeno v tabulce 13.

Tabulka 13

Porovnání reálných údajů ze dne 15.8.2016 pro český terminál, s výsledky řešení úlohy pomocí metody C&W [zdroj: autor]

15.8.2016, CZ - LT	Počet tripů / cisteren	Dopravní výkon [km]
Realita	4	<b>1 487</b>
C&W	5	<b>1 792</b>
Rozdíl:	1	<b>305</b>
%	25%	<b>21%</b>

Z porovnání vyplývá, že se nepodařilo dopravní výkon snížit. Řešením úlohy jsem pro obsluhu vrcholů došel k potřebě 1 792 km, což je o 21% více, než bylo ve skutečnosti ujeté. Navíc mi místo reálných čtyř cisteren, vyšla potřeba vozidel pěti.

Výsledek není povzbuzující, ale před vyhodnocením zvoleného postupu, provedme řešení i u polského terminálu.

#### 4.1.3.3 Polský terminál: PL – KK, 15.8.2016

Obdobně jako u českého terminálu, tak i pro ten polský, si nejprve uvedme obslužené zákazníky, včetně požadovaného množství. Jsou v matici přímých vzdáleností na obrázku 22.

$d_{ij}$ vzdálenosti		kg	Požadavek závozu							
			L-LB KĚDZ.-KOŹLE	ARCLINZT, #LIN	JIRIM/HP, CALL	OPOP/HP, CALL	SEMIRŹZT, #LIN	APBRNOZT, LIN	EDWARDZT, LIN	CZECOLOM, LIN
			w00	w01	w02	w03	w04	w05	w06	w07
L-LB KĚDZ.-KOŹLE	w00		0	99,7	137	138	136	240	179	131
ARCLINZT, #LIN	w01	40 500	99	0	47	47,7	39	163	103	91,8
JIRIM/HP, CALL	w02	4 300	137	47	0	3,3	15,7	125	74	63,3
OPOP/HP, CALL	w03	4 600	137	47,4	3,3	0	12,7	127	77,2	65,8
SEMIRŹZT, #LIN	w04	15 300	136	39	15,7	12,6	0	139	90,9	79,4
APBRNOZT, LIN	w05	11 000	240	163	125	127	139	0	67,6	77,2
EDWARDZT, LIN	w06	2 780	179	103	73,5	77,2	86,3	67	0	16,7
CZECOLOM, LIN	w07	6 499	131	91,8	63,3	65,8	79,4	78	17,5	0
Celkem kg		84 979								

Obrázek 22

Matice vzdáleností terminálu PL – KK ze dne 15.8.2016, pro metodu C&W v programu excel [zdroj: autor]

Oproti terminálu CZ – LT je méně vrcholů sítě, které je zapotřebí obsloužit.

Dalším rozdílem je, že uzel  $w_{01}$  požaduje kapacitu, již nedosahuje žádné z dostupných vozidel. Bude tedy vrchol zapotřebí obsloužit vícekrát, což však nesplňuje požadavky pro řešení metodou C&W. Musím tedy metodu modifikovat a to právě u vrcholu  $w_{01}$ , kdy poruším



podmínku  $\alpha$  a vytvořím první trasu:  $\{w_{00}, w_{01}, w_{00}\}$  k níž přiřadím vozidlo s největší kapacitou (ID: 10). Požadavek na obsluhu vrcholu  $w_{01}$  je poté ponížen o kapacitu tohoto vozidla, jež je následně vyřazeno z množiny dostupných cisteren. Pak již mohu postupovat shodně s algoritmem.

Matice úspor je na následném obrázku 23.

$\lambda_{ij}$ úspora		Požadavek závazu $t$	L-LB KĚDZ.-KOŽLE							$\gamma_i$ hrany v řešení			
			w00	w01	w02	w03	w04	w05	w06			w07	
L-LB KĚDZ.-KOŽLE	w00									L-LB KĚDZ.-KOŽLE	v00		
ARCLINZT, #LIN	w01	41			189	189	196	176	175	139	ARCLINZT, #LIN	v01	1
JIRIM/HP, CALL	w02	4		190		271	257	251	242	205	JIRIM/HP, CALL	v02	1
OPOP/HP, CALL	w03	5		189	271		260	250	239	203	OPOP/HP, CALL	v03	1
SEMIRŽZT, #LIN	w04	15		197	258	261		236	224	188	SEMIRŽZT, #LIN	v04	1
APBRNOZT, LIN	w05	11		177	252	250	236		351	294	APBRNOZT, LIN	v05	1
EDWARDZT, LIN	w06	3		176	243	240	229	352		294	EDWARDZT, LIN	v06	1
CZECOLOM, LIN	w07	6		139	205	202	187	292	292		CZECOLOM, LIN	v07	1
Celkem $t$		85	Maximum:		351,7								

Obrázek 23 Matice úspor dopravního výkonu terminálu PL – KK ze dne 15.8.2016, pro metodu C&W v programu excel [zdroj: autor]

Polský terminál má běžně k dispozici 11 vozidel s kapacitou od 10 až 25 tun. Opět si lze tento stav porovnat, tentokrát s tabulkou 8 (kapitoly 3.3). Příprava pro zpracování dat je na obrázku 24.

KAPACITY CISTEREN LIN:		22	21	21	21	10	23	23	23	t	
ID Cisterny:		1	2	3	4	5	6	7	8		
		21	25	21							
		9	10	11							
Trasy / Tripy:	zásobník: t	Okružní jízda: km:		Cisterna: t		Zbytek		Cisterna prázdná: Y / N		C&W (y <sub>i</sub> ):	
1.									N.A.		
2.									N.A.		
3.									N.A.		
4.									N.A.		
5.									N.A.		
6.									N.A.		
...									N.A.		
Celkem: 0 t		0 km		Zbytek: 0							

Obrázek 24 Příprava pro zpracování úlohy terminálu PL - KK ze dne 15.8.2016, C&W [zdroj: autor]

Postup řešení samozřejmě opět vychází z popisovaného algoritmu (v kapitole 4.1.2). Konečný výsledek úlohy je na obrázku 25.



Obrázek 25 Výsledek úlohy terminálu PL - KK ze dne 15.8.2016, metodou C&W [zdroj: autor]

Zmiňovaná modifikace algoritmu je patrná při pohledu na první trasu. Ve čtvrté trase dojde ke druhé obsluze vrcholu  $w_{01}$ .

Dále je výsledkem:

- K rozvozům bylo naplánováno pět tras a tedy i pět cisteren
- Dopravní výkon činí: 1 401 km (při distribuci 85 t produktu)
- Tři trasy (1., 4., a 5.) z pěti tvoří obsluhu pouze jednoho vrcholu. Zbytek tras tvoří okružní jízdy
- U čtyř z pěti cisteren se nepodařilo plně využít kapacitu vozidla. Zbytkové množství produktu ve vozidlech činí 15%

Výsledek opět porovnáme s reálnými daty daného dne, v tabulce 14.

Tabulka 14 Porovnání reálných údajů ze dne 15.8.2016 pro polský terminál, s výsledky řešení úlohy pomocí metody C&W [zdroj: autor]

15.8.2016, PL - KK	Počet tripů / cisteren	Dopravní výkon [km]
Realita	4	<b>1 141</b>
C&W	5	<b>1 401</b>
Rozdíl:	1	<b>260</b>
%	25%	<b>23%</b>

Také aplikace u polského terminálu nevede k úspoře dopravního výkonu, který je o 23% větší, než byl ve skutečnosti. Místo reálných čtyř cisteren, vychází potřeba vozidel pěti.

#### 4.1.4 Shrnutí aplikace algoritmu C&W

##### 4.1.4.1 Výsledek pro oba terminály

Po neúspěšných pokusech optimalizace u jednotlivých terminálů pomocí metody C&W, zbývá ještě pohled na celkový výsledek pro oba dva. Ten je v tabulce 15.

Tabulka 15 Porovnání reálných údajů ze dne 15.8.2016 pro oba terminály, s výsledky řešení úlohy pomocí metody C&W [zdroj: autor]

15.8.2016, CZ - LT & PL - KK	Počet tripů / cisteren	Dopravní výkon [km]
Realita	8	<b>2 628</b>
C&W	10	<b>3 193</b>
Rozdíl:	2	<b>565</b>
%	25%	<b>21%</b>

Hodnoty ve společné tabulce obou terminálů pro distribuci kapalného dusíku ze dne 15.8.2016 již jen číselně ukazují, že řešením dané úlohy algoritmem C&W je dosaženo dopravního výkonu o 21% větším, než skutečně byl. Navíc je zapotřebí deseti vozidel, oproti původním osmi.

##### 4.1.4.2 Shrnutí popsané aplikace C&W

Je tedy jasné, že tento postup k optimalizaci nepovede. Problém není v algoritmu samotném, ale v tom, že je dle svých zákonitostí použit k porovnání s reálnými závozy, kdy obsluha vrcholů a vytvořené trasy vycházely z postupu, vysvětleném v kapitole 2.3.2.

To znamená, že ve skutečnosti bylo 15.8.2016 z obou terminálů (CZ – LT & PL - KK) opravdu již nutno obsloužit pravděpodobně jen osm zákazníků, tedy i osmi vozidly. Distribuce k ostatním zákazníkům, respektive obsluha dalších uzlů, byla provedena buď v rámci clusteru (na principu rozvozu zbývající kapacity vozidla po prvním závozu, až do vyprázdnění a to bez ohledu na skutečnou potřebu obsluhy těchto uzlů, s kritériem vyčerpat co nejvíce produkt z vozidla před návratem zpět), nebo dle dalších pravidel, které byly uvedeny v kapitole 2.3.2 a jsou schematicky znázorněny na obrázcích 8 až 10.

Jelikož efektivnost popsaného postupu tvorby tras metodou C&W nelze porovnat s uskutečněnou distribucí, pokusme se o optimalizaci realizovaných tras a dopravního výkonu modifikovaným algoritmem C&W.

## 4.2 Modifikovaný algoritmus C&W

Metoda C&W nás vede k tvorbě cyklů a tras takovým způsobem, že je nutno mít dostatečné množství produktu ve vozidle, aby bylo možno při realizaci obsluhy následného uzlu jeho požadavky plně uspokojit. To bude mít za následek, že se budou vozidla vracet zpět do obslužného depa se zbytky.

Uvažujme, že tvorba a realizace tras probíhá tak, jak je popsáno pro společnost AP, tedy nejprve obsluha vrcholů v clusteru atd. Algoritmus upravíme tak, aby byla povolena obsluha uzlu  $i$  v případě, že nebude zbytková kapacita vozidla dostatečná pro úplné naplnění skladu, tedy zásobníku zákazníka.

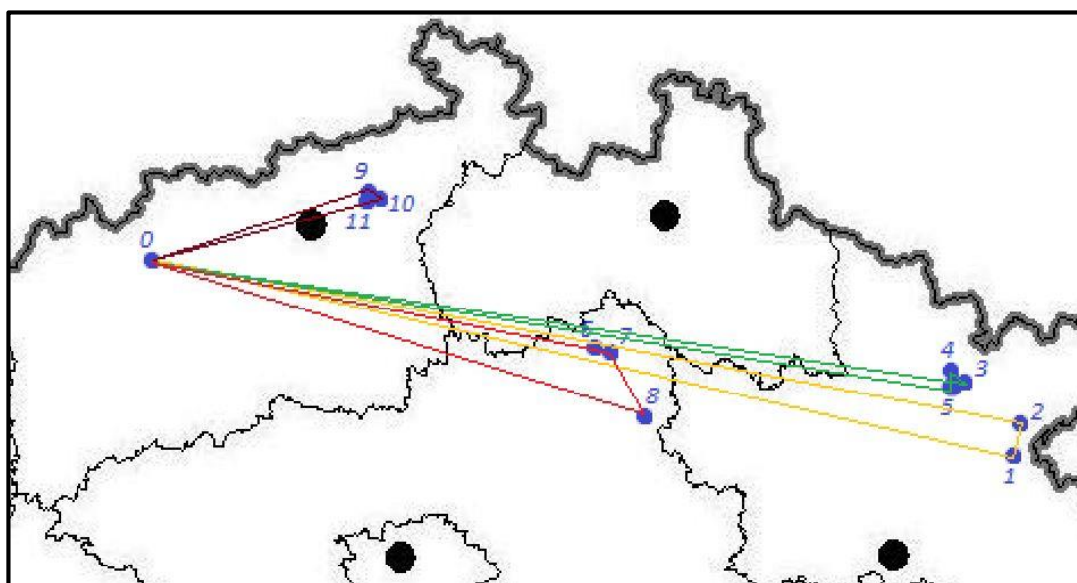
Stále platí logika úspory:  $\lambda_{ij} = d_{i0} + d_{0j} - d_{ij}$ .

### 4.2.1 Aplikace upraveného algoritmu

Co tato změna provede při aplikaci upraveného algoritmu na naplánované a uskutečněné trasy distribuce kapalného dusíku společnosti ze dne: 15.8.2016?

#### 4.2.1.1 Aplikace modifikovaného algoritmu C&W pro terminál CZ - LT

Uskutečněné obsluhy vrcholů jsou graficky znázorněny na obrázku 26.



Obrázek 26 Uskutečněné závozy LIN dne 15.8.2016 z českého terminálu na mapě [zdroj: autor]

Z mapy je zřejmé, že vozidla obslouží vrcholy v jedné oblasti (clusteru) a vrací se zpět do obslužného depa. Což odpovídá předchozímu popisu způsobu tvorby tras ve společnosti.

Řešení a výsledek úlohy s modifikovaným algoritmem pro český terminál je na obrázku 27.

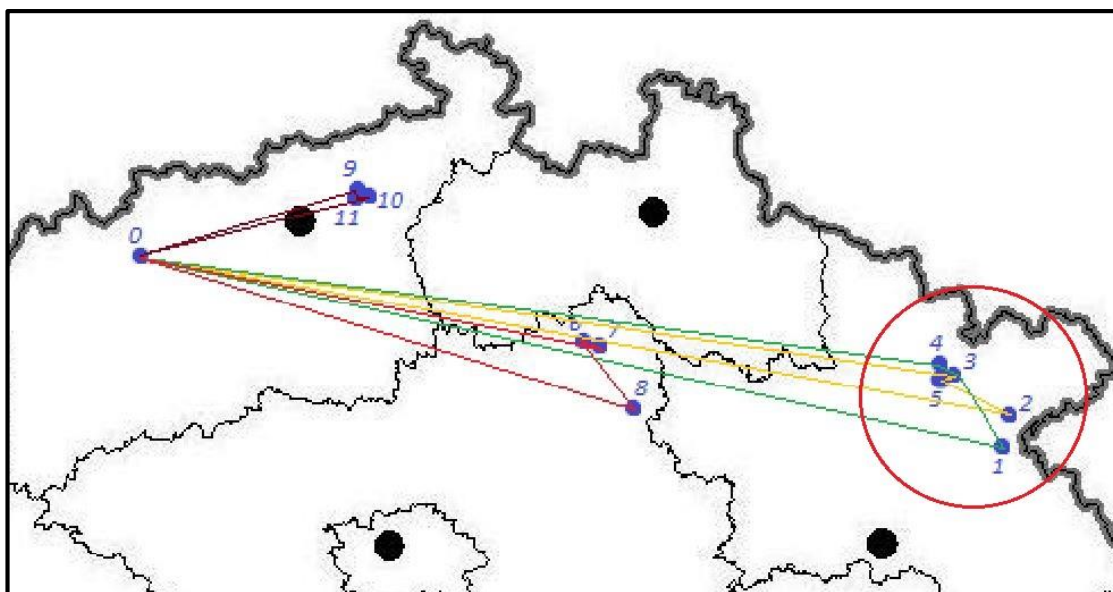


KAPACITY CISTEREN LIN:		23	16	25	25	25	25	25	23	t
ID Cisterny:		1	2	3	4	5	6	7	8	
Trasy / Tripy:	Vázané vrcholy / zásobník:	t	Okružní jízda:		km:	Cisterna:	t	≤ Zbytek	Cisterna prázdná:	
1.	v02-v05-v03*	25	0-2-5-3*-0		504	3	25	0	Y	
2.	v01-v03*-v4	24	0-1-3*-4-0		482	4	25	1	N	
3.	v08-v06-v07	25	0-8-6-7-0		300	5	25	0	Y	
4.	v09-v11-v10	24	0-9-11-10-0		128	6	25	1	N	
5.								N.A.	N.A.	
6.								N.A.	N.A.	
...								N.A.	N.A.	
<b>Celkem:</b>		<b>98</b>	t	<b>1413,3</b>		km	Zbytek:		<b>2</b>	

Obrázek 27 Výsledek úlohy terminálu CZ - LT ze dne 15.8.2016, modifikovaným algoritmem C&W [zdroj: autor]

Umožněním obsloužit vrcholy vícekrát k tomuto dochází u vrcholu  $v_3^*$ . Výsledný dopravní výkon je 1 413 km, o 74 km méně než byl skutečný (1 487 km) a to o 5%. Upravený algoritmus k tomu využil stejný počet vozidel (4 cisterny).

Hlavní změna cyklů obslužených vrcholů, vycházející z rozdělení obsluhy vrcholu  $v_3$  je viditelná na obrázku 28, v červeném kruhu.



Obrázek 28 Optimalizace uskutečněných závozu LIN ze dne 15.8.2016 z českého terminálu modifikovaným algoritmem C&W [zdroj: autor]

Výsledek je tentokrát zajímavý a je nutno prověřit, zda lze takto optimalizovat dopravní výkon i u polského terminálu.

Nejprve však ještě doplníme tabulku 16, pro dobrý přehled dosažené úspory dopravního výkonu na českém terminálu.



Tabulka 16

Porovnání reálných údajů ze dne 15.8.2016 pro český terminál, s výsledky řešení úlohy pomocí modifikovaného algoritmu C&W [zdroj: autor]

15.8.2016, CZ - LT; Rozdělení obsluhy uzlu	Počet tripů / cisteren	Dopravní výkon [km]
Realita	4	1 487
C&W	4	1 413
Rozdíl:	0	-74
%	0%	-5%

#### 4.2.1.2 Aplikace modifikovaného algoritmu C&W pro terminál PL - KK

Výsledek úlohy s modifikovaným algoritmem pro polský terminál je na obrázku 29.



Obrázek 29

Výsledek úlohy terminálu PL - KK ze dne 15.8.2016, modifikovaným algoritmem C&W [zdroj: autor]

Pro daný den modifikovaný algoritmus vytvořil čtyři trasy, tedy shodně s reálným stavem. Dvě z tras obsluhují pouze jeden uzel. Dopravní výkon se snížil, ale pouze o 1,2 km, tedy necelé jedno procento, což je i patrné z tabulky 17.

Tabulka 17

Porovnání reálných údajů ze dne 15.8.2016 pro polský terminál, s výsledky řešení úlohy pomocí modifikovaného algoritmu C&W [zdroj: autor]

15.8.2016, PL - KK; Rozdělení obsluhy uzlu	Počet tripů / cisteren	Dopravní výkon [km]
Realita	4	1 141
C&W	4	1 140
Rozdíl:	0	-1,2
%	0%	-0,11%

Pozitivem bezpochyby je, že došlo k úspoře, ačkoliv nepatrné. Tedy si nyní aplikaci modifikovaného algoritmu C&W shrňme.

## 4.2.2 Shrnutí aplikace modifikovaného algoritmu C&W

Algoritmus C&W, tak jak jsem ho popsal v kapitole 4.1.2.1 a následně aplikoval pro řešení modelové situace i pro oba terminály, nemá šanci optimalizaci u terminálů nalézt. Je to způsobeno tím, že mu dáváme k vyřešení obsluhu vrcholů, které byly uskutečněny dle současné logiky plánování v popisované společnosti. Jedná se vlastně o nesmyslný pokus o řešení.

Avšak modifikovaný algoritmus C&W se při pokusu optimalizace již realizovaných tras osvědčil. Tím, že je mu umožněno obsloužit vrchol, jehož kapacita požadavku je větší než zbývající kapacita vozidla. Zároveň si algoritmus zachovává základní princip úspory dopravního výkonu ( $\lambda_{ij}$ ).

To znamená, že je při zachování současného způsobu plánování tras k optimalizaci použitelný.

### 4.2.2.1 Český terminál (CZ – LT)

Modifikovaný C&W našel úspory jak v trasách při rozdělení závozu do vrcholu  $v_{03}$ , tak hlavně v pořadí obsluhy vrcholů tras dle principu úspor ( $\lambda_{ij}$ ).

V tabulce 18 je porovnání dopravních výkonů jednotlivých řešení, včetně tras a pořadí obslužených vrcholů:

Tabulka 18 CZ – LT porovnání tří řešení: Realita (současné plánování), C&W a modifikovaný C&W [zdroj: autor]

15.8.2016, CZ - LT; Porovnání výsledků dopravního výkonu						
	Realita	[km]	C&W	[km]	modif. C&W	[km]
1.	v00-v01-v02-v00	498	v00-v02-v05-v08-v00	488,1	v00-v02-v05-v03*-v00	503,8
2.	v00-v03-v04-v05-v00	500,1	v00-v09-v06-v03-v04-v00	440	v00-v01-v03*-v4-v00	482
3.	v00-v06-v07-v08-v00	350	v00-v10-v11-v00	134,1	v00-v08-v06-v07-v00	300
4.	v00-v09-v10-v11-v00	139,2	v00-v01-v00	484	v00-v09-v11-v10-v00	127,5
5.			v00-v07-v00	246		
	Celkem [km]:	<b>1487</b>		<b>1792</b>		<b>1413</b>
	Rozdíl od reality [km]:	<b>0</b>		<b>304,9</b>		<b>-74</b>
	Procenta:	100%		<b>21%</b>		<b>-5%</b>

Hlavně se zaměříme na reálné, respektive uskutečněné obsluhy uzlů (Realita), v porovnání s daty upraveného algoritmu (modif. C&W).

Trasy 1. a 2. obsluhují u obou řešení shodné vrcholy ( $v_1$  až  $v_5$ ) a modifikovaný C&W, je s ohledem na dopravní výkon dokázal optimalizovat o něco více než 12 km.

Zajímavější je úspora u tras 3. a 4. :

- Trasa 3.: obsluhuje stejné vrcholy:  $\{v_{06}, v_{07}, v_{08}\}$ , jak u reálné distribuce dne 15.8.2016, tak i u modifikovaného algoritmu C&W. Změnou pořadí obsluhy vrcholů dochází k úspoře 50 km (z původních 350 km → na 300 km), tedy téměř o 15%.
- Trasa 4.: také u obou metod obsluhuje tři shodné vrcholy  $\{v_{09}, v_{10}, v_{11}\}$  a opět změnou pořadí obsluhy vrcholů dokáže upravený algoritmus dosáhnout úspory, tentokrátě téměř 12 km (z původních 139,2 km => na 127,5 km), což je více než 8% úspornější řešení.

#### 4.2.2.2 Polský terminál (PL – KK)

Také u dat polského obslužného depa v následující tabulce 19, dávám do pozadí výsledky řešení klasickou metodou C&W (dopravní výkon je o téměř čtvrtinu vyšší než u uskutečněných závozu, tedy v tabulce: Realita).

Tabulka 19 PL - KK porovnání tří řešení [zdroj: autor]

15.8.2016, PL - KK; Porovnání výsledků dopravního výkonu						
	Realita	[km]	C&W	[km]	modif. C&W	[km]
1.	w00-w01-w00	198,7	w00-w01-w00	198,7	w00-w06-w05-w07-w00	453,8
2.	w00-w02-w03-w04-w00	289,2	w00-w06-w05-w07-w00	453,8	w00-w04-w03-w02-w00	288,6
3.	w00-w05-w06-w07-w00	454,4	w00-w03-w02-w00	277,7	w00-w01-w00	198,7
4.	w00-w01-w00	198,7	w00-w01-w00	198,7	w00-w01-w00	198,7
5.			w00-w04-w01	271,9		
	Celkem [km]:	<b>1141</b>		<b>1401</b>		<b>1140</b>
	Rozdíl od reality [km]:	<b>0</b>		<b>259,8</b>		<b>-1,2</b>
	Procenta:	100%		<b>23%</b>		<b>-0,11%</b>

Modifikovaný algoritmus neměl u polského terminálu výraznou možnost dopravní výkon optimalizovat. Dvě trasy ze čtyř jsou u obou řešení zcela shodné:  $\{w_{00}, w_{01}, w_{00}\}$ , jelikož se daný den obsluhoval zejména vrchol  $w_{01}$ , který i vyžadoval kapacitu obsluhy převyšující téměř dvojnásobně kapacitu dostupného vozidla.

K rozdělení obsluhy žádného z vrcholů nedochází.

Optimalizace, ačkoliv nevýrazná, je nalezena v pořadí obsluhy vrcholů. Modifikovaný C&W si pořadí obsluhy vrcholů opět dle logiky úspory seřadil. U obsluhy uzlů jsou úspory následující:

- $w_{02}, w_{03}$  a  $w_{04}$ : 0,6 km
- $w_{05}, w_{06}$ , a  $w_{07}$ : 0,6 km

#### 4.2.2.3 Oba terminály

Z výše popsaného vyplývá, že je možno tento postup na již naplánované trasy plánovači společnosti AP i při jejich současném postupu plánování aplikovat. Budování tras může modifikovaný algoritmus C&W vždy prověřit a navrhnout jejich změnu.

Úspory nebudou z denního pohledu radikální. Avšak z dlouhodobého hlediska, například v horizontu jednoho roku, může být celková úspora velmi zajímavá.

Potud tedy popis současného stavu a jeho případná optimalizace, ale co když změním dosavadní postup při budování tras v popisované společnosti?

## 5 Simulace dle navrženého algoritmu

Současný systém plánování distribuce, respektive budování jednotlivých tras ve společnosti AP je dlouhodobě fungujícím. Plánovači používají softwarové nástroje (programy: Quest a LBShell) a s jejich pomocí sestavují trasy závozů (tripy) pro obsluhy vrcholů.

Postup plánování je takový, že se tvoří trasa ve spojení s vrcholem, jež program Quest vyhodnotí tak, že je ho již bezpodmínečně nutno obsloužit. Stav, respektive množství TP, v zásobníku (skladu) tohoto vrcholu se blíží definovanému minimu jeho zásob produktu (pod používaným pojmem: Runn-out). Quest dokonce udává datum a čas, kdy u daného zákazníka Runn-out nastane. Po dosažení tohoto minima může dojít k přerušení výrobních procesů, což obvykle znamená i značné ztráty.

Jelikož je kapacita vozidla ve většině případů větší, než kapacita obsluženého vrcholu, dochází k tvorbě cyklu s dalším vrcholem. Pakliže i nadále zůstává ve vozidle produkt, opět se tvoří cyklus s dalším vrcholem atd. Tvorba trasy ve spojení se zákazníkem, který se blíží k Runn-out, je v první řadě prováděna v rámci clusteru, dále obsluhou vrcholu při zpáteční cestě do depa, nebo okružní jízdou.

Důležitý je tedy výběr vrcholů, které obslužíme zároveň se zákazníkem blízko Runn-out. Metodu Clark&Wright použít nelze. Modifikovaný C&W může pomoci úpravou již naplánovaných tras, umožněním obsloužit vrchol vícekrát a také seřazením vrcholů v trase na základě úspory ( $\lambda_{ij}$ ).

Zjistit, zda lze výběr vrcholů oproti stávajícímu stavu provést tak, aby došlo ke snížení dopravního výkonu, se pokusím simulací. V ní budu současně tvořit trasy dle běžného postupu a zároveň dle navrženého algoritmu.



## 5.1 Data pro simulaci

Z programu Quest jsem si vygeneroval (v pondělí, 10.4.2017 v 10:30) data pro český terminál (CZ - LT), s výpisem zákazníků pro dodávky kapalného dusíku (LIN), u kterých systém očekává jejich obsluhu a to s výhledem na několik týdnů dopředu.

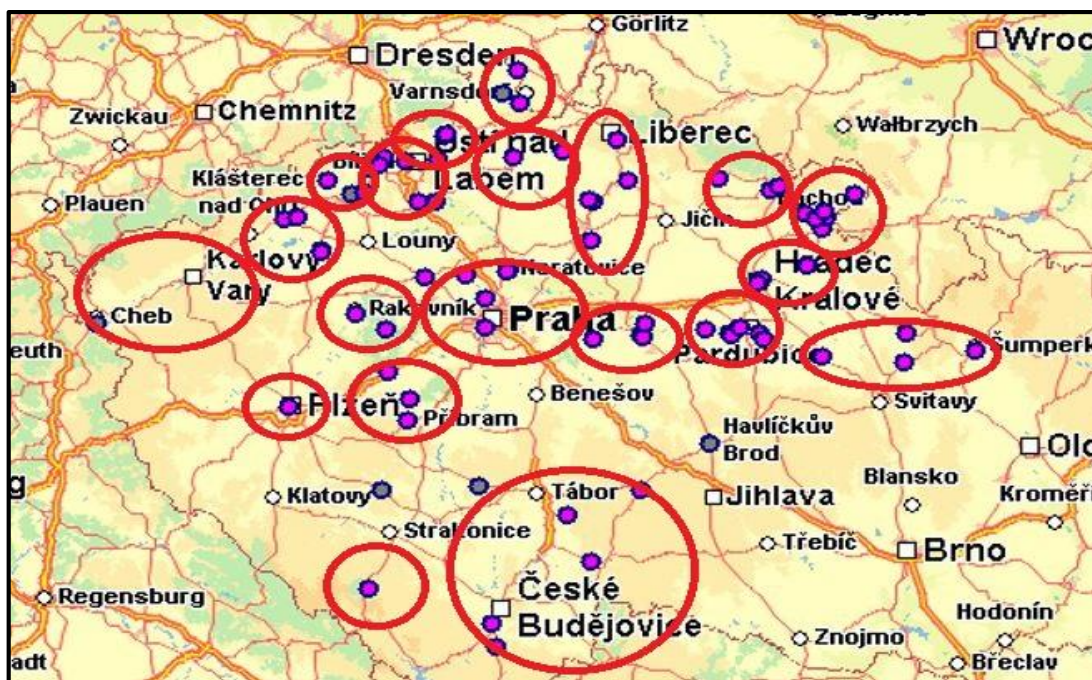
### 5.1.1 Zákazníci LIN českého obslužného depa

Jedná se o 82 zákazníků, kteří jsou přiřazeni do 20-ti clusterů. V programu LBShell je uveden počet aktivních LIN zákazníků vyšší a činí: 124. Tento rozdíl mezi jednotlivými programy je dán tím, že Quest zobrazuje jen zákazníky, u kterých je již předpokládána potřeba závozu. Program LBShell eviduje všechny zákazníky, tedy i takové, u kterých je četnost obsluhy výrazně nižší, či k obsluze dochází jen nárazově. Pracuji s daty programu Quest. Clustery jsou vypsány v tabulce 20.

Tabulka 20 Clustery českého terminálu (CZ - LT) dle dat z programu Quest, společnosti AP [zdroj: autor]

Clustery v CZ:	CESKALI	DECIN	HRADECK	CHOMUTO	CHOUTN	KARLOVY	KOLIN	LANSKRO	LITVINO	MLADA	NACHOD	PARDUBI	PLZEN	PRAHA	RAKOVNI	RUMBURK	TEPLICE	TRUTNOV	VIMPERK	ZEBRAK
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Zobrazení poloh clusterů českého obslužného depa na mapě, je na obrázku 30.



Obrázek 30 Clustery dle programu Quest na mapě [zdroj: autor]

Pro svou simulaci potřebuji distanční matici. Při počtu 82 obsluhovaných vrcholů by se i s obslužným depem jednalo o matici 83 x 83 (6 889 polí matice). Nedaří se mi však matici vzdáleností vygenerovat ani z jednoho z programů (Quest a LBSHELL), ačkoliv distance mezi jednotlivými vrcholy v programech jsou. Tvorbu distanční matice, například vyhledáváním všech vzdáleností krok po kroku v jednom z programů, nebo na [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz) pro pracnost a časovou náročnost zavrhuji.

Úlohu tedy opět zjednoduším. Vyberu jen několik clusterů, v nichž budu simulaci provádět. Vycházím z předpokladu, že když bude princip fungovat na podmnožině, bude možno využít pro celý atrakční obvod distribuce kapalného dusíku, poté i u všech ostatních rozvážených produktů.

### 5.1.2 Zjednodušení úlohy

Z celkového počtu dvaceti clusterů jich vybírám šest a vypisuji do tabulky 21.

Tabulka 21 Vybrané clustery pro řešení navrženým algoritmem [zdroj: autor]

Vybrané Clustery (seřazeno dle vzdálenosti od obslužného depa)	
1.	LITVINO
2.	PRAHA
3.	KOLIN
4.	PARDUBI
5.	HRADECK
6.	NACHOD

Polohy vybraných clusterů jsou znázorněny na obrázku 31.



Obrázek 31 Vybrané clustery pro řešení navrženým algoritmem [zdroj: autor]



Šest clusterů je tvořeno 28-mi vrcholy, pro které sestavuji matici vzdáleností (29 x 29; 841 polí). Vzdálenosti jsou vyhledány na [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz). Matice je na obrázku 32.

Cluster	Acronym	Adresa	Vrchol	v0	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12	v13	v14	v15	v16	v17	v18	v19	v20	v21	v22	v23	v24	v25	v26	v27	v28		
Obsl. depo: CZ-LIT Litvínov	IAPEKRSO	Litvínov 8	V0	0	1	24	106	106	101	64	94	84	144	168	167	195	164	210	202	203	221	218	218	234	212	206	252	250	245	243	249	279		
			V1	1	0	26	109	109	103	67	95	86	147	170	165	198	167	217	204	204	217	220	220	236	211	211	255	253	257	247	249	281		
Pražna	WICTO/HP	Blatina	V2	24	26	0	99	99	90	54	96	76	137	161	155	189	158	207	195	195	207	210	210	226	201	201	245	243	248	237	239	272		
			V3	106	109	99	0	0	42	51	37	31	64	73	67	101	70	119	107	107	119	122	122	138	113	113	157	155	160	149	151	184		
			V4	106	109	99	0	0	42	51	37	31	64	73	67	101	70	119	107	107	119	122	122	138	113	113	157	155	160	149	151	184		
			V5	101	103	90	42	42	0	38	23	40	59	84	78	112	81	130	118	118	130	133	133	149	124	124	168	166	171	160	162	195		
			V6	64	67	54	51	51	38	0	30	30	92	113	108	141	110	160	147	147	160	163	163	179	154	154	198	196	200	189	192	224		
			V7	94	95	96	37	37	30	0	15	66	88	83	116	85	134	122	122	134	138	138	138	153	129	129	172	171	175	164	166	199		
Kolín	MAXKALIN	Kralup.n.Vit	V8	84	86	76	31	31	40	30	15	0	67	90	85	118	87	137	129	129	137	140	140	156	131	131	175	173	178	167	169	201		
			V9	144	147	137	64	64	59	92	66	67	0	26	21	54	22	95	64	64	95	98	98	114	89	89	133	131	136	125	127	160		
			V10	168	170	161	73	73	84	113	88	90	26	0	6	28	7	62	49	49	62	65	65	81	56	56	100	98	102	92	94	126		
			V11	167	165	155	67	67	78	108	83	85	21	6	0	35	1	67	45	45	67	70	70	86	61	61	105	103	108	97	99	131		
			V12	195	198	189	101	101	112	141	116	118	54	28	35	0	34	19	10	10	10	19	23	23	64	39	39	81	79	84	73	75	107	
			V13	164	167	158	70	70	81	110	85	87	22	7	1	34	0	68	45	45	68	71	71	87	62	62	106	104	109	98	100	133		
Pardubice	AWOSPAP	Pardubice	V14	210	217	207	119	119	130	160	134	137	95	62	67	19	68	0	10	10	0	4	4	52	27	27	76	74	79	68	70	103		
			V15	202	204	195	107	107	118	147	122	129	64	49	45	10	45	10	0	0	10	13	13	54	29	29	79	77	81	71	73	105		
			V16	203	204	195	107	107	118	147	122	129	64	49	45	10	45	10	0	0	10	13	13	54	29	29	79	77	81	71	73	105		
			V17	221	217	207	119	119	130	160	134	137	95	62	67	19	68	0	10	10	0	4	4	52	27	27	76	74	79	68	70	103		
			V18	218	220	210	122	122	133	163	138	140	98	65	70	23	71	4	13	13	4	13	13	4	0	39	30	30	79	78	82	71	73	106
			V19	218	220	210	122	122	133	163	138	140	98	65	70	23	71	4	13	13	4	13	13	4	0	39	30	30	79	78	82	71	73	106
Hradec	BOHEPOČ	Opohoň	V20	234	236	226	138	138	149	179	153	156	114	81	86	64	87	52	54	54	52	39	39	0	27	27	31	30	34	23	31	58		
			V21	212	211	201	113	113	124	154	129	131	89	56	61	39	62	27	29	29	29	27	30	30	27	0	0	52	50	55	44	46	78	
			V22	206	211	201	113	113	124	154	129	131	89	56	61	39	62	27	29	29	29	27	30	30	27	0	0	52	50	55	44	46	78	
			V23	252	255	245	157	157	168	198	172	175	133	100	105	81	106	76	79	79	79	79	76	79	31	52	52	0	2	10	10	10	26	
			V24	250	253	243	155	155	166	196	171	173	131	98	103	79	104	74	77	77	74	78	78	30	50	50	2	0	12	8	12	8	29	
			V25	245	257	248	160	160	171	200	175	178	136	102	108	84	109	79	81	81	79	82	82	34	55	55	10	12	0	12	3	36		
Náchod	RUBNACZT	Náchod	V26	243	247	237	149	149	160	189	164	167	125	92	97	73	98	68	71	71	68	71	71	23	44	44	10	8	12	0	8	35		
			V27	249	249	239	151	151	162	192	166	169	127	94	99	75	100	70	73	73	70	73	73	31	46	46	10	12	3	8	0	36		
			V28	279	281	272	184	184	195	224	199	201	160	126	131	107	133	103	105	105	103	106	106	58	78	78	26	29	36	35	36	0		

Obrázek 32

Distanční matice pro simulaci dle navrženého algoritmu [zdroj: autor]

Matice je symetrická, rozdílly vzdáleností  $\{v_{ij}, v_{ji}\}$  a  $\{v_{ji}, v_{ij}\}$  zanedbávám. Vrcholem  $v_0$  je obslužné depo, zbývající vrcholy  $v_1$  až  $v_{28}$  jsou obsluhovaní zákazníci, u kterých je v distanční matici zřetelné, do jakého spadají clusteru.

## 5.2 Příprava pro simulaci

Stejně jako při řešení algoritmu C&W (kapitola 4.1) a modifikovaného algoritmu C&W (kapitola 4.2) si připravuji matici úspor. Tentokrát však nepočítám úsporu dopravního výkonu ze vztahu:  $d_{i0} + d_{0j} - d_{ij}$ .

### 5.2.1 Matice úspor

Tato matice úspor mi pomůže v simulaci následovně: vozidlo se nachází v obsluženém vrcholu ( $v_{ij}$ , jedná se o některý z vrcholů uvedených v řádcích). Vozidlo má zbývající kapacitu pro obsluhu dalšího vrcholu. Zeleně zvýrazněná hodnota v řádku obsluženého vrcholu upozorňuje na minimální vzdálenost zpět do obslužného depa ( $v_0$ ), jestliže budu při cestě zpět do  $v_0$  obsluhovat vrchol ve sloupci, s jejímž průnikem zelené zvýraznění vzniká.

Pro vysvětlení uvádím, že například:

- Vozidlo obsloužilo vrchol  $v_1$  a nedošlo k úplnému vyprázdnění cisterny. V řádku vrcholu  $v_1$  je zeleně zvýrazněna hodnota 50 (km) související s vrcholem  $v_2$ . To znamená, že když z vrcholu  $v_1$  pojedou vozidlo obsloužit vrchol  $v_2$  a následně se vrátí do obslužného depa  $v_0$ , ujedou na trase:  $\{v_1, v_2, v_0\}$  vzdálenost 50 km.
- Vozidlo je po obsluze vrcholu  $v_{11}$  a návrat s nejmenším dopravním výkonem do  $v_0$  přes další obslužený vrchol je po trase:  $\{v_{11}, v_9, v_0\}$ , nebo:  $\{v_{11}, v_{13}, v_0\}$ .

V pravém sloupci matice úspor je minimální vzdálenost (km) z obsluženého vrcholu, skrze vrchol sloupce zpět do obslužného depa.

Matice úspor je na obrázku 33.



	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12	v13	v14	v15	v16	v17	v18	v19	v20	v21	v22	v23	v24	v25	v26	v27	v28	Min		
Litvín																															
JAPEKRO	50	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110		
Liřín	27	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110		
Litvínov 8	50	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110		
Blžina	27	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110		
Neratovice	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	
Neratovice	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	
Praha 5	104	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	
Slaný	68	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	
Rozt. u Prahy	96	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	
Kralup.n.Vit.	87	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	
Kouřim	148	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	
Ovčáry	171	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	
Kolín	166	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Přelouč	199	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Kolín IV.	168	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Pardubice	218	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Staré Ččvice	205	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Staré Ččvice	205	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Pardubice	218	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Černá za Bory	221	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Černá za Bory	221	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Opočno	237	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Hr. Králové	212	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Hr. Králové	256	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Hronov	254	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Velké Poříčí	258	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Červ. Kostelec	248	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Náchod	250	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Zábrodí	282	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Martinkovice	278	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110

Obrazek 33

Matice úspor pro simulaci dle navrženého algoritmu [zdroj: autor]

## 5.2.2 Příprava k řešení

K řešení simulace je již připravena matice vzdáleností (kapitola 5.1.2, obrázek 32) a také matice úspor (kapitola 5.2.1, obrázek 33), které vycházejí ze zvolených clusterů a jim náležících obsluhovaných vrcholů.

Pro simulaci je nutno připravit a doplnit zbývající data. Posléze i systém pro zpracování simulace.

### 5.2.2.1 Příprava dat pro simulaci

Budu simulovat distribuci TP společnosti AP v časovém rozsahu 40-ti dní.

Při simulaci uvažuji, že mám k dispozici shodná cisternová vozidla, jejichž kapacita je vždy: 24 700 kg.

Vygeneruji kapacity zásobníků jednotlivých zákazníků, tak aby se pohybovaly v rozmezí 6 000 až 40 000 kg, což jsou obvyklé kapacity zásobníků.

Denní spotřeby plynů jednotlivými zákazníky také vygeneruji. Jednotliví zákazníci mají rozdílnou rychlost a každý zákazník spotřebovává po dobu simulace konstantně. Nejrychleji může zákazník spotřebovat celý zásobník za 14 dní, nejpomaleji za 50 dní.

Ještě je nutno vygenerovat počáteční stavy v zásobnících. Ty pro druhou simulaci změním.

Takto připravená data mi umožní řešit úlohu VRP, při níž se pokusím navrženým algoritmem optimalizovat dopravní výkon.

### 5.2.2.2 Tabulka pro simulaci

Úlohu zpracovávám v programu Excel, který mi po zapsání stočeného množství nákladu do obsluženého vrcholu, pomáhá aktualizací stavu (množství) plynu v zásobníku. Také u každého vrcholu automaticky odečítá denní spotřebu.

Pro vysvětlení příkládám tabulku 22. Pro vrchol  $v_1$  (zákazník: JAPEKSRO) jsem vygeneroval:

- Kapacitu (maximum) zásobníku: 19 240 kg
- Denní spotřebu zákazníka: 557 kg
- Stav v zásobníku pro den 1: 2 427 kg

Z tabulky je u tohoto vrcholu ( $v_1$ ) dále patrné, že do zásobníku by bylo nyní (Den 1) možno stočit 16 813 kg. Jelikož není v tomto dni vrchol obslužen, zbývá dostatek produktu ještě na 4 dny a nebude-li do té doby proveden závoz, nastane Runn-out (tedy stav: dnů do RO < 0).

U vrcholu  $v_{19}$  je stav zásobníku nízký a dnů do RO je 0 a ve dni 1 dojde k závozu.



Tabulka 22

Řešení simulace Cluster a Noodle [zdroj: autor]

Cluster									
Cluster	Acronym	Adresa	Vrchol	Maximum	Spotřeba	Stav	Chybí	Dnů do RO	Po závozu
Obsl.depo: CZ-LT		Záluží, Litv.	v0	Simulace 01		Den 1			
Litvínov	JAPEKSRO	Litvínov 8	v1	19240	557	2427	16813	4	16813
	VICTO/HP	Bílina	v2	18032	963	4174	13858	4	13858
Praha	CAYMAN	Neratovice	v3	15616	1064	2861	12755	2	12755
	SPONERZT	Neratovice	v4	12051	441	5620	6431	12	6431
	BODPRA87	Praha 5	v5	20760	670	2878	17882	4	17882
	ELECTRIC	Slaný	v6	29800	1315	5142	24658	3	24658
	VUABROZT	Rozt.u Prah	v7	22815	832	15905	6910	19	6910
	MAXKALIN	Kralup.n.Vlt	v8	12740	266	2837	9903	10	9903
Kolín	LONZKOZT	Kouřim	v9	12240	523	7131	5109	13	5109
	INGEKOLI	Ovčáry	v10	30621	687	20670	9951	30	9951
	ALCKOLO6	Kolín	v11	19080	746	18864	216	25	216
	EICHENPC	Přelouč	v12	15820	678	14742	1078	21	1078
Pardubice	LUCEKOLI	Kolín IV.	v13	33616	1653	12849	20767	7	20767
	AWOSPAR	Pardubice	v14	22512	1535	3370	19142	2	7813
	KYBPARHP	Staré Čivice	v15	23265	1124	22984	281	20	281
	APAGELEK	Staré Čivice	v16	19558	1084	11887	7671	10	7671
	DAYSMEZT	Pardubice	v17	19012	695	15469	3543	22	3543
	MEDUNPA	Černá za Bc	v18	24024	1069	16659	7365	15	7365
	MIROPARD	Černá za Bc	v19	13452	405	81	13371	0	0
Hradeck	BOHEOPOČ	Opočno	v20	28779	745	24616	4163	33	4163
	BUHLHRAD	Hr.Králové	v21	21924	449	12740	9184	28	9184
	RUBEHRZT	Hr.Králové	v22	12320	325	4477	7843	13	7843
Náchod	WIKOHRON	Hronov	v23	17992	710	11435	6557	16	6557
	SICOHRON	Velké Poříčí	v24	19008	1123	4096	14912	3	14912
	SAARČERV	Červ.Kostel	v25	17056	389	16107	949	41	949
	RUBNACZT	Náchod	v26	29100	1296	25813	3287	19	3287
	TFPHORNI	Zábrodí	v27	8170	431	7949	221	18	221
	PRIKNER	Martínkovic	v28	21809	758	21122	687	27	687
<b>Celková dráha:</b>		<b>12189 km</b>		<b>560412</b>	<b>22533</b>	<b>Trip:</b>	<b>19-14</b>	<b>432 km</b>	
Noodle									
Cluster	Acronym	Adresa	Vrchol	Maximum	Spotřeba	Stav	Chybí	Dnů do RO	Po závozu
Obsl.depo: CZ-LT		Záluží, Litv.	v0	Simulace 01		Den 1			
Litvínov	JAPEKSRO	Litvínov 8	v1	19240	557	2427	16813	4	16813
	VICTO/HP	Bílina	v2	18032	963	4174	13858	4	13858
Praha	CAYMAN	Neratovice	v3	15616	1064	2861	12755	2	12755
	SPONERZT	Neratovice	v4	12051	441	5620	6431	12	6431
	BODPRA87	Praha 5	v5	20760	670	2878	17882	4	17882
	ELECTRIC	Slaný	v6	29800	1315	5142	24658	3	24658
	VUABROZT	Rozt.u Prah	v7	22815	832	15905	6910	19	6910
	MAXKALIN	Kralup.n.Vlt	v8	12740	266	2837	9903	10	9903
Kolín	LONZKOZT	Kouřim	v9	12240	523	7131	5109	13	5109
	INGEKOLI	Ovčáry	v10	30621	687	20670	9951	30	9951
	ALCKOLO6	Kolín	v11	19080	746	18864	216	25	216
	EICHENPC	Přelouč	v12	15820	678	14742	1078	21	1078
Pardubice	LUCEKOLI	Kolín IV.	v13	33616	1653	12849	20767	7	20767
	AWOSPAR	Pardubice	v14	22512	1535	3370	19142	2	7813
	KYBPARHP	Staré Čivice	v15	23265	1124	22984	281	20	281
	APAGELEK	Staré Čivice	v16	19558	1084	11887	7671	10	7671
	DAYSMEZT	Pardubice	v17	19012	695	15469	3543	22	3543
	MEDUNPA	Černá za Bc	v18	24024	1069	16659	7365	15	7365
	MIROPARD	Černá za Bc	v19	13452	405	81	13371	0	0
Hradeck	BOHEOPOČ	Opočno	v20	28779	745	24616	4163	33	4163
	BUHLHRAD	Hr.Králové	v21	21924	449	12740	9184	28	9184
	RUBEHRZT	Hr.Králové	v22	12320	325	4477	7843	13	7843
Náchod	WIKOHRON	Hronov	v23	17992	710	11435	6557	16	6557
	SICOHRON	Velké Poříčí	v24	19008	1123	4096	14912	3	14912
	SAARČERV	Červ.Kostel	v25	17056	389	16107	949	41	949
	RUBNACZT	Náchod	v26	29100	1296	25813	3287	19	3287
	TFPHORNI	Zábrodí	v27	8170	431	7949	221	18	221
	PRIKNER	Martínkovic	v28	21809	758	21122	687	27	687
<b>Celková dráha:</b>		<b>12184 km</b>		<b>560412</b>	<b>22533</b>	<b>Trip:</b>	<b>19-14</b>	<b>432 km</b>	

U vrcholu  $v_{14}$  dochází po obsluze vrcholu  $v_{19}$  ke stočení zbytku z obsluhující cisterny a úpravě chybějícího množství v obou zásobnících.

Tabulka 22 → v horní části (Cluster) simulují tvorbu dle stávajícího způsobu a v dolní části (Noodle) dle navrženého algoritmu.

### 5.2.3 Postup při simulaci

V simulaci budu porovnávat efektivitu tvorby tras dle obdoby stávajícího způsobu plánování oproti navrženému algoritmu. Pro lepší orientaci pojmenuji tyto dva způsoby tvorby tras následovně:

- Metoda CLUSTER:
  - Reprezentuje současný způsob tvorby tras při obsluze vrcholů sítě. V simulaci je však nutno stanovit několik pravidel (co → když), které v reálném plánování nastaveny nejsou
- Metoda NOODLE:
  - Je navržený algoritmus
  - Pojmenování „noodle“ volím s ohledem na polohu vybraných clusterů, které si od obslužného depa až po nevdálenější cluster jako nudli představit lze. Toto je patrné z obrázku 31

Nejprve hledám vrchol, který je nutno zavézt. Je to ten, který je blízko Runn-out (RO) a pravidla jsou následující:

- $RO = 0$  → po tomto dni by bez uskutečnění závozu k RO došlo. Vrchol dnes musím zavézt, zavezu ho jako první
- $RO = 1$  → k RO by bez závozu došlo za dva dny. Vrchol dnes mohu zavézt jako první
- $RO = 2$  → k RO by bez závozu došlo za tři dny. Vrchol dnes mohu zavézt jako první
- $RO > 2$  → vrchol jako první nezavážím

Když celou cisternu stočím již v prvním zásobníku zákazníka, další vrchol pro obsluhu již nehledám.

U obou metod (Cluster i Noodle) budu po obslužení prvního vrcholu hledat vrcholy, do kterých se vejde celý zbytek ve vozidle. U metody Cluster vyhledávám vrcholy pro obsluhu jenom v daném clusteru a u Noodlu všechny vrcholy. Z nalezených vrcholů pak vyberu ten, přes který je délka trasy zpět do obslužného depa nejkratší.

Když není při metodě Cluster takový vrchol, do kterého by se po prvním závozu vešel celý zbytek cisterny, rozvezu ho i do dalších vrcholů clusteru.



Vrcholy, jimž v zásobnících do plného stavu chybí < 2 000 kg, vyjmu z výběru možných k závozu, toto je naznačeno v tabulce 22, u vrcholů:  $v_3$ ,  $v_{21}$ ,  $v_{23}$  a  $v_{28}$ .

Vozidla se vždy vrací do obslužného depa prázdná.

### 5.3 Simulace

Provedu dva průběhy simulace, ve kterých souběžně dochází k obsluze vrcholů sítě dle dvou metod: Cluster a Noodle. Pro průběh druhé simulace změním počáteční stavy v zásobnících.

U obou průběhů dochází u obou metod v prvním dni k obsluze shodných vrcholů. Ve druhém průběhu je tomu tak dokonce až do desátého dne. Pak již jsou sestavovány trasy rozdílně a dochází k simulaci distribuce po dobu čtyřiceti dní. Na konci simulace nezůstal ani jeden z vrcholů ve stavu RO: 0, tedy tak, jako by se dalo očekávat při reálné distribuci.

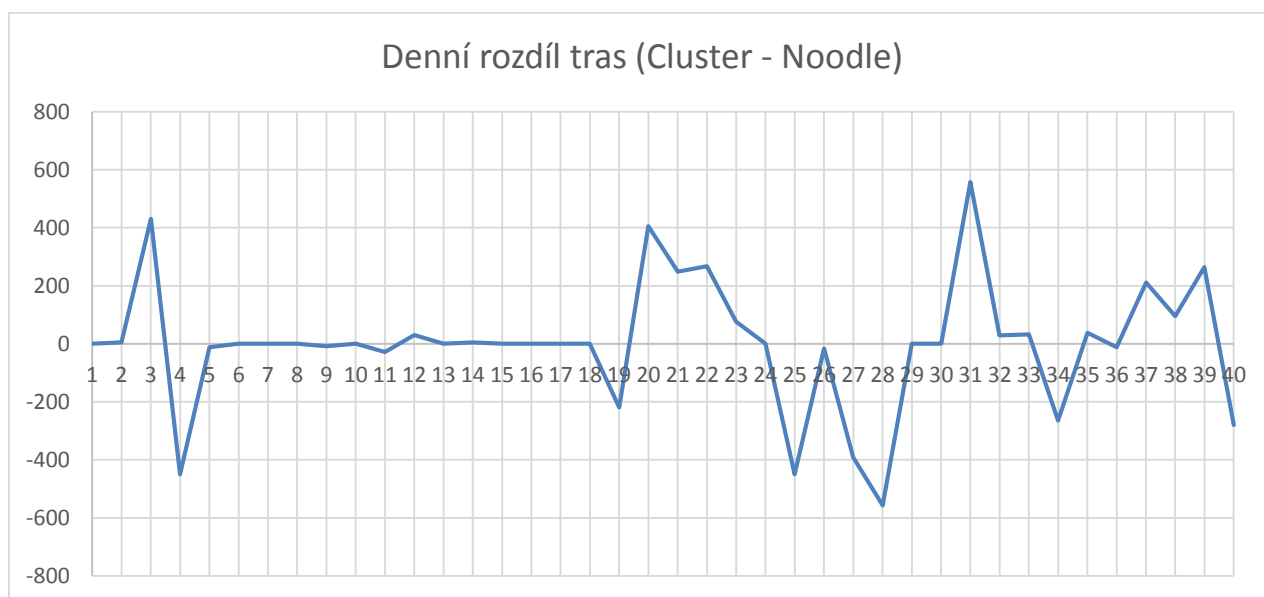
#### 5.3.1 Simulace - průběh 1

Zpracováním simulace docházím k následujícím dopravním výkonům jednotlivých metod:

- Cluster: 12 189 km
- Noodle: 12 184 km

Navržený algoritmus, metoda Noodle, končí simulaci úspěšněji o 5 km. To je však velmi malý rozdíl, jedná se pouze o: 0,04%.

Rozdíly denních tras z pohledu dopravního výkonu v kilometrech (osa: y) po dobu 40-ti dní (osa: x) jsou patrné na následném grafu 1:



Graf 1 Denní rozdíl drah metod Cluster a Noodle pro simulaci průběhu 1 [zdroj: autor]

Z grafu je zřejmé, že v mnoha dnech jsou dopravní výkony téměř shodné. Celkově vyhodnocuji průběh první simulace tak, že obě metody s ohledem na dopravní výkon, došly k téměř shodnému výsledku.

### 5.3.2 Simulace - průběh 2

Pro druhý průběh simulace jsou změněny počáteční stavy v zásobnících. Zbývající parametry jsou shodné s průběhem prvním.

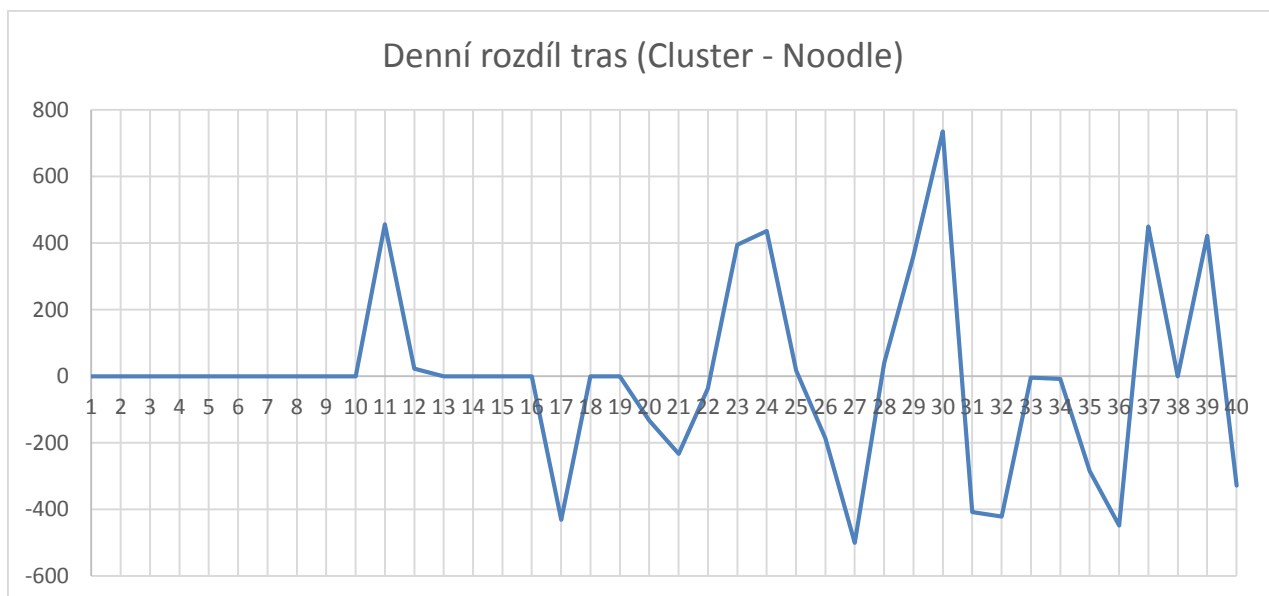
Počáteční stav ve všech zásobnících (283 281 kg) je nižší než u prvního průběhu simulace (314 905 kg), rozdíl činí 31 624 kg. To se projevuje ve výsledném dopravním výkonu, neboť logicky ve druhém průběhu nastalo více požadavků pro obsluhu vrcholů.

Nyní jsou výsledné dopravní výkony následující:

- Cluster: 12 973 km
- Noodle: 13 064 km

Metoda Noodle má s ohledem na dopravní výkon horší výsledek o 91 km. Tento rozdíl činí 0,7%, což opět není rozdíl nijak výrazný.

Rozdíly denních tras z druhého průběhu simulace jsou v grafu 2:



Graf 2 Denní rozdíl drah metod Cluster a Noodle pro simulaci průběhu 2 [zdroj: autor]

Vzhledem k malým rozdílům výsledků u obou simulací a k tomu, že v prvním průběhu byl dopravní výkon u navrženého algoritmu (Noodle) nepatrně menší, ale u druhého průběhu

naopak vyšší, se jeví, že metoda Noodle k úspoře oproti stávajícímu způsobu tvorby tras nevede.

Zohledním tedy i další hlediska výsledku obou simulací v následující kapitole (5.4).

## 5.4 Výsledek simulace dle navrženého algoritmu - Noodle

Dvě provedené simulace, popsané v předchozích kapitolách: 5.3.1 a 5.3.2, mi nedávají jasnou odpověď na otázku, zda lze navrženým algoritmem dosáhnout úspory dopravního výkonu. Pro odpověď budu muset bezpochyby také zohlednit to, že si metody vybíraly k obsluze jiné vrcholy. Je tedy důležité, v jakém jsou po čtyřiceti dnech obsluhy vrcholů u obou simulací stavy v zásobnících zákazníků.

Pro tyto účely přikládám tabulku 23, která obsahuje požadovaná data obou průběhů simulací a z níž je možné celkový výsledek odvodit.

**Tabulka 23** Výsledek simulací metodami Cluster a Noodle [zdroj: autor]

Denní spotřeba všech vrcholů: 22 533 kg Simulované období závozu: 40 dní Maximální kapacita zásobníků: 560 412 kg Kapacity obsluhujících vozidel: 24 700 kg				<b>Simulace 1</b> Počáteční stav v zásobnících: 314 905 kg V zásobnících na počátku chybí: 245 507 kg					
<b>Průběh simulace 1</b>				<b>Simulace 2</b> Počáteční stav v zásobnících: 283 281 kg V zásobnících na počátku chybí: 277 131 kg					
<b>Cluster</b>	12 189	<b>-5</b>	0,04%	301 376	758	887 791	0,09%	72,8354	12 179
<b>Noodle</b>	12 184		-0,04%	300 618		887 033	-0,09%	72,8031	12 194
<b>Průběh simulace 2</b>	Dopravní výkon [km]	Rozdíl [km]	Rozdíl [%]	Konečný stav v zásobnících [kg]	Rozdíl [kg]	Distribuované množství [kg]	Rozdíl [%]	[kg/km]	Přepočet dopr. výkonu [km]
<b>Cluster</b>	12 973	<b>91</b>	-0,70%	318 394	23 018	936 433	2,52%	72,1832	12 654
<b>Noodle</b>	13 064		0,70%	295 376		913 415	-2,46%	69,9185	13 393

Za nejdůležitější hodnoty považuji celkový dopravní výkon. Ten se v případě prvního průběhu simulace mírně kloní k navrženému algoritmu, tedy metodě Noodle, ale jen o pouhých 5 km úspory, tedy 0,04%. Druhý průběh simulace však končí úsporou 91 km, to činí 0,7%, u metody Cluster, která reprezentuje současný způsob tvorby tras.

### 5.4.1 Distribuované množství

Nelze však sledovat jen samotný dopravní výkon ke čtyřicátému dni obou simulací. Je potřeba si uvědomit, že na počátku úloh měly obě metody shodné celkové počáteční stavy v obsluhovaných zásobnících. U simulace 1: 314 905 kg a u simulace 2: 283 281 kg (data v tabulce 23).

Na konci simulací, z důvodů dvou rozdílných postupů řešení, stejné stavy nejsou. U první simulace je konečný stav v zásobnících, respektive celkové distribuované množství produktu, o 758 kg větší u metody Cluster. To činí rozdíl 0,09% a prakticky maže i překonává veškeré dosažené úspory dopravního výkonu metody Noodle v prvním průběhu.

Rozdíl konečného stavu, resp. celkového distribuovaného množství po čtyřiceti dnech druhou simulací, vychází pro metodu Cluster ještě výrazněji. Činí 23 018 kg, což je téměř celá kapacita jednoho uvažovaného obslužného vozidla a znamená o 2,5% více dodaného produktu, než metodou Noodle. Společně s nižším dopravním výkonem, potřebným pro obsluhu zákazníků metodou Cluster, je tato metoda ve druhé simulaci jednoznačně výhodnější.

Vzhledem k výše popsanému, se vracím k výsledkům dopravního výkonu.

#### **5.4.2 Dopravní výkon**

Dopravní výkon vychází v tabulce 23 u první simulace příznivěji pro navržený algoritmus (Noodle), u druhého průběhu je tomu naopak. Zohledněním rozdílu distribuovaného množství dochází k následující změně pohledu na dopravní výkon.

##### **5.4.2.1 Dopravní výkon v průběhu simulace 1**

Metoda Cluster potřebovala při této simulaci pro distribuci 887 791 kg produktu uskutečnit 12 189 km. Noodle distribuoval 887 033 kg při 12 184 km.

Efektivnost metod vyjádří poměr distribuovaného množství s dopravním výkonem:

- Cluster: 72,8354 kg/km
- Noodle: 72,8031 kg/km

Metoda Cluster je při obsluze vrcholů za sledované období o 0,03 kilogramu, na každý ujetý kilometr, efektivnější než metoda Noodle.

Když nyní přepočtu dopravní výkony tak, že se chci dozvědět, jak by se svou efektivností (kg/km) realizovala každá z metod distribuci dodaného množství té druhé metody, vychází:

- Cluster: 12 179 km
- Noodle: 12 194 km

Po vyhodnocení prvního průběhu simulace vychází, že metoda Noodle není výhodnější než stávající způsob, respektive metoda Cluster.

##### **5.4.2.2 Dopravní výkon v průběhu simulace 2**

Efektivnost metod:

- Cluster: 72,1832 kg/km
- Noodle: 69,9185 kg/km

Metoda Cluster je nyní při obsluze vrcholů o 2,26 kilogramu efektivnější, na každý ujetý kilometr, než metoda Noodle.

Přepočet dopravního výkonu:

- Cluster: 12 654 km
- Noodle: 13 393 km

Potvrzuje se, že metoda Noodle není výhodná a metodou Cluster se dosahuje menšího dopravního výkonu.

### **5.4.3 Shrnutí simulace**

Navržený algoritmus, metoda Noodle, nepřináší v uskutečněných simulacích, oproti metodě Cluster, úspory dopravního výkonu.

Výsledkem tedy je, že nemá smysl změny v budování tras, dle metody Noodle, do praxe zavádět.



## Závěr

Ve své diplomové práci jsem se zabýval možnostmi optimalizace distribuce technických plynů ve společnosti Air Products. Zpracováním nashromážděných dat jsem získal přehled o uskutečněných trasách, distribuovaném množství jednotlivých plynů, vozidlech a jejich kapacitách a také o současném způsobu plánování, tedy tvorbě tras pro obsluhu vrcholů sítě.

Pokoušel jsem se optimalizovat dopravní výkon, což znamená nalézt takové řešení, aby došlo při distribuci k úspoře najetých kilometrů. Musím si při tom uvědomit a zohlednit, že se snažím o řešení v prostředí, kde se vyskytuje mnoho rozdílností. Není distribuován pouze jeden homogenní produkt, ale pět druhů technických plynů. Dále že kapacity zavážených zásobníků jsou různé a liší se i rychlost spotřeby uskladněného produktu jednotlivých zákazníků. V neposlední řadě je důležitá i skutečnost, že práci provádí heterogenní vozový park.

Rozdílnost vozidel, v jejich kapacitě, se při zpracování dat projevuje jako jedna z možností optimalizace. Jde o to, že dvě obslužná depa se nacházejí každé v jiné zemi, kde pro silniční nákladní soupravy platí jiná váhová omezení. Záměnou některých cisternových návěsů, mezi těmito terminály, by se dalo dosáhnout zvýšení možnosti jejich plnění. Toto by vylepšilo efektivitu vozidel a mělo pozitivní vliv na dopravní výkon. Hlubší rozbor této potenciální optimalizace v práci neprovádím, bude to však předmětem interní diskuze v popisované společnosti.

Pro nalezení úspory pomocí aparátu teorie grafů, jsem se nejprve pokusil o porovnání uskutečněných tras s výsledkem algoritmu Clark & Wright. K řešení jsem si připravil model a pravidla postupu, která zhruba odpovídají reálnému stavu: v modelu je k dispozici heterogenní vozový park, jsou známy vrcholy které je nutno obsloužit i jejich požadavky a distanční matice. Úloha se dala s algoritmem C&W vyřešit. Postup modelu jsem tudíž použil pro porovnání algoritmu se skutečnou distribucí. Z dostupných dat jednoho pracovního dne jsem připravil úlohy pro distribuci kapalného dusíku z obou obslužných dep.

Sestavené trasy obsluh vrcholů z obou dep metodou C&W se od reálných tras liší. Algoritmus C&W má ale horší výsledky: v celkovém dopravním výkonu (o 21%), k obsluze potřebuje z každého obslužného depa o jedno vozidlo více, než se ve skutečnosti použilo a navíc nutí vozidla přivážet zbytky produktu zpět na terminály. Docházím k tomu, že není zapotřebí pokusy opakovat v porovnávání s dalšími uskutečněnými trasami. Algoritmus, s jeho určujícími podmínkami přípustnosti řešení, nemá prakticky možnost úspornější řešení nalézt a dozajista vždy „prohraje“, tedy když plánovač v obvyklém postupu neutvoří opravdu nevýhodné až nesmyslné trasy.

Je nutno si uvědomit, jakým způsobem byly v reálné distribuci obsluhy vrcholů plánovány a následně i prováděny. Jak podrobněji ve své diplomové práci popisuji, tak hlavním současným postupem je obsluha sousedních vrcholů v určité oblasti, která je nazývána: „cluster“. Českému ekvivalentu tohoto anglického výrazu je pravděpodobně nejbližší výraz: shluk, anebo skupinka. Teprve, když již nemá smysl vrcholy daného clusteru obsluhovat, přichází řada na další popsané postupy (obsluha vrcholu při návratu do obslužného depa a okružní jízda). Trasa se běžně začíná plánovat teprve v okamžiku, kdy se stav v některém ze skladů, které v práci představují zásobníky technických plynů, klesá k hodnotě definovaného minima. Protože je kapacita vozidla obvykle větší než kapacita tohoto vrcholu, doplňují se do trasy obsluhy dalších vrcholů v tomto clusteru a to až do stavu, kdy je vozidlo prázdné.

Z výše popsaného vyplývá, že jsem poskytl algoritmu C&W k obsluze vrcholy, které sice byly skutečně obslouženy, ale jen některé opravdu býti musely. Také, že je C&W v takové úloze oproti stávající tvorbě tras diskriminován svými podmínkami. Zejména pak, že je pro doplnění požadavku skladu, s nímž chceme utvořit cyklus, zapotřebí mít dostatečnou kapacitu ve vozidle. Reálně se však prováděly obsluhy zákazníků, které se obsloužit museli a poté se hledalo místo pro stočení zbytku produktu z vozidel.

Algoritmus C&W tedy v základním tvaru pro porovnání použít nešlo. A tak jsem mu upravil podmínky přístupnosti řešení. Modifikovaný C&W nyní umožnil, jak obsluhu jednoho vrcholu vícekrát, tak i obsluhu vrcholu, pro který není ve vozidle dostatečná zbývající kapacita pro úplné uspokojení požadavku. Zůstává mu zachován princip úspor:  $\lambda_{ij} = d_{i0} + d_{0j} - d_{ij}$ .

Porovnání uskutečněných tras s výsledkem modifikovaného algoritmu Clark & Wright přineslo ve prospěch algoritmu úspory u obou obslužných dep. Modifikovaný C&W nepotřeboval více vozidel a optimalizace dopravního výkonu je dosažena zejména změnou pořadí obsloužených vrcholů, které si algoritmus seřadil dle principu úspor ( $\lambda_{ij}$ ). Dosahované úspory nejsou možná z pohledu jednoho distribučního dne výrazného významu, ale z dlouhodobého hlediska je tato optimalizace určitě zajímavá.

Nakonec jsem se v práci musel pokusit prověřit, zda je současná metoda obsluhy vrcholů v clusteru opravdu výhodná. Porovnáním výsledků již uskutečněných závozu v clusteru, s jakýmkoliv algoritmem, totiž může v ideálním případě nabídnout jen optimalizaci metody obsluhy clusteru. Jako se po modifikaci podařilo i metodě C&W.

Klíčové nejspíše je, které vrcholy je skutečně nutno obsloužit. Připravil jsem si úlohu, ve které jsem provedl dva průběhy simulace. V nich dochází současně k tvorbě tras metodou: Cluster a navrženým algoritmem: Noodle. Metoda Noodle má za úkol hledat úsporu vytvořením cyklu

s kterýmkoliv z vrcholů v dané síti, ale chci po algoritmu, aby druhý obsloužený vrchol, po obsluze vrcholu prvního, pojmul zbývající kapacitu vozidla.

Simuluji distribuci kapalného dusíku pro období čtyřiceti dní. V poslední den simulace nesmí být zákazník, jehož stav skladu by byl: 0 dní do Runn-out.

Po prvním průběhu bylo dosaženo mírné úspory dopravního výkonu navrženým algoritmem Noodle. Po druhém průběhu simulace se naopak mírně úspornější ukázala metoda Cluster. Jelikož obě metody z pohledu dopravního výkonu vycházejí téměř shodně, rozhodl jsem se zohlednit i distribuované množství obou metod a v obou simulacích.

Na začátku průběhu každé simulace mají obě metody, Cluster i Noodle, stejné stavy skladů obsluhovaných vrcholů. Na konci, ve dni: 40, tomu tak však logicky není, jelikož si metody tvořily trasy rozdílně. Efektivnost metod prověřím poměrem distribuovaného množství s dopravním výkonem (kg/km). U prvního i druhého průběhu vychází, že se metodou Cluster dosahuje lepší efektivity, na ujetý kilometr distribuuje více produktu. Kdybych provedl simulace delší, například na 200 dní, bylo by to patrné i u výsledků dopravních výkonů.

Docházím tudíž k závěru, že navržený algoritmus, metoda Noodle, nepřináší v uskutečněných simulacích, oproti metodě Cluster úspory dopravního výkonu. Zároveň tedy, že nemá smysl změny v budování tras, dle metody Noodle do praxe zavádět.

Nakonec shrnuji, že při distribuci technických plynů ve společnosti Air Products, je používán výhodný způsob tvorby tras, spočívající v obsluze vrcholů v určitých oblastech, nazývaných clustery. To, že lze i při současném způsobu obsluhy vrcholů dosáhnout úspory dopravního výkonu, dokazuje aplikace modifikovaného algoritmu Clark & Wright. Proto použití této metody doporučuji, zejména pro ověření naplánovaných tras. V nich by algoritmus nejčastěji upravoval pořadí obsluhy vrcholů v jednotlivých trasách a plán tímto optimalizoval. Dalším doporučením je posouzení rozmístění jednotlivých vozidel mezi českým a polským obslužným depem. Je patrné, že výměna některých z nich mezi těmito depy, by zvýšila efektivitu celého vozového parku.

Věřím, že témata v této práci, mohou být užitečná a zajímavá v případě zájmu o distribuci i jiných látek, než jsou technické plyny. Dále věřím, že se dá na tuto práci i navázat, pro rozsáhlejší zpracování tématu.

## Literatura

- [1] **Volek J., Linda B.:** Teorie grafů - aplikace v dopravě a veřejné správě, Univerzita Pardubice, 2012, ISBN 978-80-7395-225-9.
- [2] Zákazníci LIN, terminálu CZ - LT, pro nejbližší závozy – dle aktuálního stavu dne 10.4.2017: plánovací program Quest.
- [3] CLARKEOVA-WRIGHTOVA METODA ŘEŠENÍ ÚLOHY VRP:  
[https://www.fd.cvut.cz/projects/k611x1p/lide/michal/Clarke\\_Wright.pdf](https://www.fd.cvut.cz/projects/k611x1p/lide/michal/Clarke_Wright.pdf) .
- [4] Objemové složení vzduchu: <http://uchop.vscht.cz/files/uzel/0011054/0052>
- [5] Kryogenní způsob dělení vzduchu; ilustrační schéma: interní školící materiál společnosti Air Products, kvalifikační číslo: 50938262.
- [6] Výrobní závod technických plynů – společnosti Carbuos Matelicos, Španělsko: interní školící materiál společnosti Air Products, Kvalifikační číslo: 50805450.
- [7] Cisternový návěs pro přepravu zkapalněných technických plynů. Provozovatel: Linde; výrobce cisterny: Schwingeschloegel, Rakousko: <http://www.schwingeschloegel.at/> .
- [8] Bateriový vodíkový návěs společnosti Messer: <http://www.fahrzeugbau-schmidt.de/index.php/de/fahrzeugbau> .
- [9] Nákladní vozidlo pro přepravu tlakových lahví - společnosti Praxair:  
<http://www.fahrzeugbau-schmidt.de/index.php/de/fahrzeugbau> .

## Seznam obrázků

- Obrázek 1 Kryogenní způsob dělení vzduchu; ilustrační schéma [5]
- Obrázek 2 Výrobní závod technických plynů – společnosti Carburos Matelicos, Španělsko [6]
- Obrázek 3 Cisternový návěs pro přepravu zkapalněných technických plynů. Provozovatel: Linde; výrobce cisterny: Schwingeschloegel, Rakousko [7]
- Obrázek 4 Bateriový vodíkový návěs společnosti Messer [8]
- Obrázek 5 Vodíkový návěs s tlakovými lahvemi z kompozitních materiálů společnosti Air Products [zdroj: autor]
- Obrázek 6 Nákladní vozidlo pro přepravu tlakových lahví - společnosti Praxair [9]
- Obrázek 7 Zákazníci LIN, terminálu CZ - LT, pro nejbližší závozy – dle aktuálního stavu dne 10.4.2017 [2]
- Obrázek 8 Příklad distribuce TP do jednotlivých množin zákazníků [zdroj: autor]
- Obrázek 9 Cluster - nevyčerpaná kapacita vozidla [zdroj: autor]
- Obrázek 10 Cluster - okružní jízda [zdroj: autor]
- Obrázek 11 Závoz kapalného dusíku cisternovým návěsem společnosti Air Products do statického zásobníku v závodě TRCZ v Lovosicích ze dne 4.5.2017 [zdroj: autor]
- Obrázek 12 Princip metody Clark & Wright [1]
- Obrázek 13 Matice vzdáleností modelu pro metodu C&W v programu excel [zdroj: autor]
- Obrázek 14 Matice úspor dopravního výkonu modelu pro metodu C&W v programu excel [zdroj: autor]
- Obrázek 15 Příprava pro zpracování modelu C&W [zdroj: autor]
- Obrázek 16 Vývojový diagram algoritmu C&W pro řešení modelu [zdroj: autor]
- Obrázek 17 Výsledek modelu [zdroj: autor]
- Obrázek 18 Matice vzdáleností terminálu CZ – LT ze dne 15.8.2016, pro metodu C&W v programu excel [zdroj: autor]
- Obrázek 19 Matice úspor dopravního výkonu terminálu CZ – LT ze dne 15.8.2016, pro metodu C&W v programu excel [zdroj: autor]
- Obrázek 20 Příprava pro zpracování úlohy terminálu CZ - LT ze dne 15.8.2016, C&W [zdroj: autor]
- Obrázek 21 Výsledek úlohy terminálu CZ - LT ze dne 15.8.2016, metodou C&W [zdroj: autor]
- Obrázek 22 Matice vzdáleností terminálu PL – KK ze dne 15.8.2016, pro metodu C&W v programu excel [zdroj: autor]
- Obrázek 23 Matice úspor dopravního výkonu terminálu PL – KK ze dne 15.8.2016, pro metodu C&W v programu excel [zdroj: autor]

- Obrázek 24 Příprava pro zpracování úlohy terminálu PL - KK ze dne 15.8.2016, C&W [zdroj: au-tor]
- Obrázek 25 Výsledek úlohy terminálu PL - KK ze dne 15.8.2016, metodou C&W [zdroj: autor]
- Obrázek 26 Uskutečněné závozy LIN dne 15.8.2016 z českého terminálu na mapě [zdroj: autor]
- Obrázek 27 Výsledek úlohy terminálu CZ - LT ze dne 15.8.2016, modifikovaným algoritmem C&W [zdroj: autor]
- Obrázek 28 Optimalizace uskutečněných závozů LIN ze dne 15.8.2016 z českého terminálu modifikovaným algoritmem C&W [zdroj: autor]
- Obrázek 29 Výsledek úlohy terminálu PL - KK ze dne 15.8.2016, modifikovaným algoritmem C&W [zdroj: autor]
- Obrázek 30 Clustery dle programu Quest na mapě [zdroj: autor]
- Obrázek 31 Vybrané clustery pro řešení navrženým algoritmem [zdroj: autor]
- Obrázek 32 Distanční matice pro simulaci dle navrženého algoritmu [zdroj: autor]
- Obrázek 33 Matice úspor pro simulaci dle navrženého algoritmu [zdroj: autor]



## Seznam tabulek

- Tabulka 1 Složení vzduchu (objemově), popisované technické/vzdušné plyny [4]
- Tabulka 2 Distribuované technické plyny ze dvou terminálů [zdroj: autor]
- Tabulka 3 Rozmístění flotily po produktech a terminálech [zdroj: autor]
- Tabulka 4 Aktivní obsluhovaná depa, po dvou terminálech [zdroj: autor]
- Tabulka 5 Terminál - obslužné depo CZ; údaje fiskálního roku 2016 [zdroj: autor]
- Tabulka 6 Data pro vybraný produkt LIN [zdroj: autor]
- Tabulka 7 Vozidla LIN s aktuálním umístěním na terminál CZ - LT a jejich kapacity [zdroj: autor]
- Tabulka 8 Vozidla LIN s aktuálním umístěním na terminál PL - KK a jejich kapacity [zdroj: autor]
- Tabulka 9 Heterogenní vozový park dvou terminálů CE [zdroj: autor]
- Tabulka 10 Legislativní váhové omezení nákladní soupravy se tříosým návěsem [zdroj: autor]
- Tabulka 11 Váhové kapacity tří základních typů cisternových návěsů při přepravě kapalného dusíku [zdroj: autor]
- Tabulka 12 Skutečně realizovaná distribuce ze dne 15.8.2016 [zdroj: autor]
- Tabulka 13 Porovnání reálných údajů ze dne 15.8.2016 pro český terminál, s výsledky řešení úlohy pomocí metody C&W [zdroj: autor]
- Tabulka 14 Porovnání reálných údajů ze dne 15.8.2016 pro polský terminál, s výsledky řešení úlohy pomocí metody C&W [zdroj: autor]
- Tabulka 15 Porovnání reálných údajů ze dne 15.8.2016 pro oba terminály, s výsledky řešení úlohy pomocí metody C&W [zdroj: autor]
- Tabulka 16 Porovnání reálných údajů ze dne 15.8.2016 pro český terminál, s výsledky řešení úlohy pomocí modifikovaného algoritmu C&W [zdroj: autor]
- Tabulka 17 Porovnání reálných údajů ze dne 15.8.2016 pro polský terminál, s výsledky řešení úlohy pomocí modifikovaného algoritmu C&W [zdroj: autor]
- Tabulka 18 CZ – LT porovnání tří řešení: Realita (současné plánování), C&W a modifikovaný C&W [zdroj: autor]
- Tabulka 19 PL - KK porovnání tří řešení [zdroj: autor]
- Tabulka 20 Clustery českého terminálu (CZ - LT) dle dat z programu Quest, společnosti AP [zdroj: autor]
- Tabulka 21 Vybrané clustery pro řešení navrženým algoritmem [zdroj: autor]
- Tabulka 22 Řešení simulace Cluster a Noodle [zdroj: autor]
- Tabulka 23 Výsledek simulací metodami Cluster a Noodle [zdroj: autor]

## **Seznam grafů**

- Graf 1      Denní rozdíl drah metod Cluster a Noodle pro simulaci průběhu 1 [zdroj: autor]  
Graf 2      Denní rozdíl drah metod Cluster a Noodle pro simulaci průběhu 2 [zdroj: autor]

## **Seznam příloh**

Přílohy jsou uložena na CD ROM, který je přidán k tištěné verzi diplomové práce. Přílohy tvoří řešení jednotlivých úloh v programu Excel. Struktura uložení příloh:

P.1 C&W model

P.2 C&W+modif-CZ-LIN-den 15 8 2016

P.3 C&W+modif-PL-LIN-den 15 8 2016

P.4 Simulace-metoda Noodle