



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Ondřej Jánský

Návrh rozvozových tras pro heterogenní flotilu vozidel

Diplomová práce

2023



K617 Ústav logistiky a managementu dopravy

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Ondřej Jánský

Studijní program (obor/specializace) studenta:

navazující magisterský – LA – Logistika a řízení dopravních procesů

Název tématu (česky): **Návrh rozvozových tras pro heterogenní flotilu vozidel**

Název tématu (anglicky): Design of delivery routes for a heterogeneous fleet of vehicles

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Představení zvolené společnosti
- Analýza současného stavu
- Formulace řešeného problému
- Metody řešení pro návrh rozvozových tras
- Návrh řešení pomocí zvolené metody



- Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucích diplomové práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Sai Shao, Wei Guan, Jun Bi (2018). Electric vehicle-routing problem with charging demands and energy consumption.
Nacima Labadie, Christian Prins, and Caroline Prodhon (2016). Metaheuristics for Vehicle Routing Problems.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Alena Rybičková, Ph.D.**
Ing. Martin Plajner, Ph.D.

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

Datum odevzdání diplomové práce: **15. května 2023**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Tomáš Horák, Ph.D.
vedoucí
Ústavu logistiky a managementu dopravy



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

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Ondřej Jánský
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 30. června 2022

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem č. 1/2009 o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

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

V Praze dne 15. května 2023

Bc. Ondřej Jánský

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří se podíleli na vzniku této diplomové práce. V první řadě bych chtěl poděkovat vedoucím své práce Ing. Aleně Rybičkové, Ph.D. a Ing. Martinu Plajnerovi, Ph.D. za cenné rady, poskytnuté materiály a čas strávený nad konzultacemi této práce. Také bych rád poděkoval firmě PPL CZ s.r.o. za poskytnutí dat v rámci diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě Logio s.r.o., která mi poskytla softwarové řešení pro strategické plánování s názvem Distribution Wizard (DW), který je financován z veřejných zdrojů. V neposlední řadě chci poděkovat svým rodičům, příbuzným a blízkým, kteří mě podporovali během celého studia.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Návrh rozvozových tras pro heterogenní flotilu vozidel

Diplomová práce

Květen 2023

Bc. Ondřej Jánský

Abstrakt

Předmětem diplomové práce je návrh rozvozových tras pro heterogenní flotilu vozidel. Teoretická část obsahuje popis distribuční logistiky, distribuční strategie, logistických technologií a popis možných způsobů řešení pro návrh tras při heterogenní flotile vozidel. Praktická část obsahuje popis vybrané společnosti, analýzu aktuálního stavu, návrh strategie při trasování rozvozových tras, simulace jednotlivých možných řešení a v neposlední řadě ekonomické zhodnocení.

Klíčová slova:

Logistika, distribuční strategie, JSprit, simulované žihání, DW, metody řešení, logistické technologie, logistické služby

Design of delivery routes for a heterogeneous fleet of vehicles

Master thesis

May 2023

Bc. Ondřej Jánský

Abstract

The subject of the master thesis is the design of delivery routes for a heterogeneous fleet of vehicles. The theoretical part includes a description of distribution logistics, distribution strategies, logistics technologies, and a description of possible solutions for route design in the case of a heterogeneous fleet of vehicles. The practical part includes a description of a selected company, an analysis of the current state, a proposal of a strategy for tracing delivery routes, simulations of various possible solutions, and last but not least, an economic evaluation.

Key words:

Logistics, distribution strategy, JSprit, simulated annealing, DW, solution methods, logistics technologies, logistics services

1.	ÚVOD	10
2.	LOGISTIKA.....	12
2.1.	DISTRIBUČNÍ STRATEGIE.....	13
2.1.1.	INTENZITA DISTRIBUCE.....	15
2.1.2.	FORMY DISTRIBUCE.....	15
	PŘÍMÁ DISTRIBUCE.....	15
	NEPŘÍMÁ DISTRIBUCE.....	16
	MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ DISTRIBUCE	16
3.	TOPOLOGIE DISTRIBUČNÍ SÍŤ.....	18
4.	DOPRAVA V LOGISTICE	20
4.1.	VLASTNÍ MIMOPODNIKOVÁ DOPRAVA	20
4.2.	EXTERNÍ MIMOPODNIKOVÁ DOPRAVA	20
5.	SLUŽBY	22
5.1.	PŘEPRAVNÍ SLUŽBY	22
5.2.	SBĚRNÉ SLUŽBY	22
5.3.	ZASÍLATELSKÉ SLUŽBY.....	22
5.4.	BALÍKOVÉ, EXPRESNÍ A KURÝRNÍ SLUŽBY.....	23
6.	LOGISTICKÉ TECHNOLOGIE	26
6.1.	JUST IN TIME	26
6.2.	QUICK RESPONSE.....	26
6.3.	HUB AND SPOKE	27
6.4.	POINT-TO-POINT.....	27
6.5.	CROSS-DOCKING.....	28
7.	VYBRANÉ METODY PRO ŘEŠENÍ PROBLÉMU	29
7.1.	ZÁKLADNÍ DĚLENÍ	29
7.1.1.	EXAKTNÍ METODY	29
7.1.2.	KLASICKÉ HEURISTIKY	30
	APROXIMAČNÍ ALGORITMY	30
7.1.3.	METAHEURISTIKY	30
	ALGORITMUS SIMULOVANÉHO ŽIHÁNÍ.....	32
	METODA <i>RUIN AND RECREATE</i>	32
7.2.	PROBLÉM OKRUŽNÍCH JÍZD (VRP).....	33
7.2.1.	VRP VARIANTY.....	34
7.3.	PROBLÉM OKRUŽNÍCH JÍZD ELEKTRICKÝCH VOZIDEL (E-VRP).....	35
7.3.1.	FORMULACE PROBLÉMU	36
7.3.2.	VSTUPNÍ PARAMETRY MODELU	37
7.3.3.	MODEL.....	38
7.4.	ROZDÍLY MEZI VRP A E-VRP PROBLEMATIKOU.....	40
7.5.	VYUŽITÍ CLUSTEROVÉ METODY	41
7.6.	JSPRIT.....	42
8.	PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI PPL CZ S. R. O.	44
8.1.	O SPOLEČNOSTI PPL CZ S.R.O.	44
8.2.	PŘEPRAVNÍ SÍŤ SPOLEČNOSTI	45
9.	PROCES FUNGOVÁNÍ SPOLEČNOSTI	47
11.	VYBRANÉ DEPO KARLOVY VARY	52
11.1.	VOZOVÝ PARK DEPA	54
11.2.	ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU ROZVOZOVÝCH TRAS	55

12.	NÁVRH ŘEŠENÍ POMOCÍ ZVOLENÉ METODY	58
12.1.	SIMULAČNÍ NÁSTROJ DISTRIBUTION WIZARD	58
12.2.	PROPOJENÁ VARIANTA	62
12.3.	VARIANTA „REGIONY“	63
13.	ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	66
13.1.	POROVNÁNÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	66
13.2.	OBSLUŽNOST REGIONU POMOCÍ ELEKTRICKÝCH VOZIDEL	67
14.	ZÁVĚR.....	70
15.	POUŽITÉ ZDROJE	73
	SEZNAM OBRÁZKŮ	75
	SEZNAM TABULEK	77
	SEZNAM ELEKTRONICKÝCH PŘÍLOH.....	78

1. Úvod

Logistika, jak ji známe dnes, je důležitým prvkem obchodního řetězce. Na logistickém řetězci se nachází řada procesů a jednotlivých kroků, které se musí uskutečnit, aby výsledný produkt nebo služba dorazila od poskytovatele nebo výrobce až ke konečnému zákazníkovi. Nedílnou součástí celého logistického řetězce jsou samotné sklady nebo samotná distribuce. V distribuci je nejdůležitější část procesu přeprava. Při přepravě vzniká mnoho faktorů, kde mohou společnosti plýtvat svými financemi. S ohledem na přepravu vznikly různé strategie, jak šetřit náklady a více optimalizovat distribuční a přepravní sítě. Jednou z možností, jak dospět k úsporám je v dnešní době použití distribuční strategie, která nám pomáhá identifikovat neefektivitu a následně přispět ke snížení nákladů za samotnou distribuci s ohledem na logistická omezení.

V dnešním moderní světě vzniká spousta nedostatků, a to právě i v rámci zmíněné distribuce. S ohledem na tyto nedostatky vzniká spousta otázek, na které nejsou vždy jednoduché odpovědi. Jednou z velkých otázek posledních dob je otázka elektromobility při přepravě zásilek na poslední míli. Různé společnosti z oblasti přepravy jsou nuceny redukovat počet vozidel na fosilní paliva a nahrazovat je elektromobily. Odpověď na tuto otázku, zda se jedná o správný krok nahrazovat celé flotily vozidel právě elektromobily, budeme znát v nejbližších letech. Další z otázek je dnešní kvalita života. Mnoho lidí si zvyklo na vysoké standardy, kdy je kladen důraz na komfort, rychlost a kvalitu služeb. V případě přepravy a doručování zásilek to platí také a velká zkouška pro toto odvětví proběhla během pandemie, kdy velká část populace byla odkázána na tyto služby. Samotné doručování zásilek je důležitým tématem a každoročně přibývá velké množství subjektů, kteří jsou odkázáni na společnosti zabývající se přepravou.

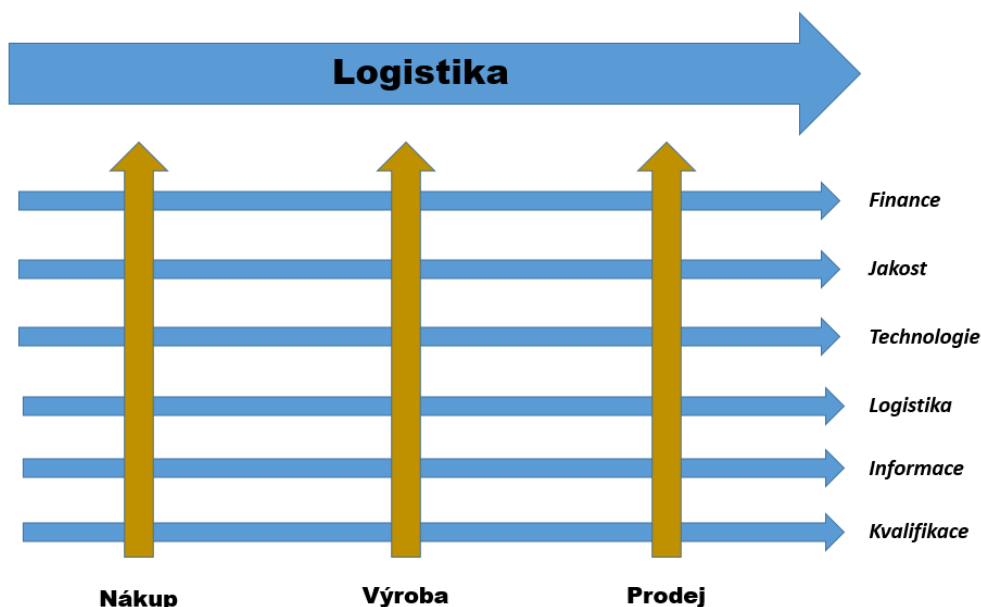
V rámci mého zaměstnání v logistické konzultační společnosti byla možnost kontaktovat společnost PPL CZ a domluvit se tak na tématu diplomové práce, které bude mít smysl a zodpoví některé aktuální otázky z logistické praxe. Proto jsem se rozhodl zpracovat tuto práci na téma „Návrh rozvozových tras pro heterogenní flotilu vozidel“ se zohledněním právě zmíněné elektromobility. Problematika elektromobility a distribuce se dnes posouvá každým dnem dopředu a existuje mnoho nástrojů, jak pomoci tuto problematiku řešit a předejít zbytečným neefektivitám. Je nezbytně nutné, aby společnosti měly správně nastavenou distribuční strategii a neplýtvaly svými investicemi. Samotná distribuční strategie může ovlivnit až 80 % nákladů logistiky, a proto je nutné se na tuto problematiku zaměřit.

Cílem této diplomové práce je navrhnout strategii rozvozevých tras s ohledem na heterogenní flotilu vozidel, která v sobě integruje i zmíněné elektromobily. Práce se dále zaměřuje na problematiku služeb a přepravy na posledním článku celého logistického řetězce. Jedná se o pohyb zásilky z jednotlivých distribučních center nebo dep až ke koncovému zákazníkovi. Distribuční logistika obecně produkuje velké nedostatky a je potřeba se jí neustále zabývat. Dalšími body práce jsou metody na základě, kterých je možné zefektivnit proces doručování.

Smyslem práce je v prvním kroku analyzovat historický stav z hlediska počtu ujetých kilometrů a tento stav vyčíslit i finančně. Dále je historický stav porovnán s dalšími dvěma variantami, které budou srovnány s ohledem na nákladovost, která zahrnuje počet ujetých kilometrů. Pro tyto varianty je použito open-source řešení JSprit, které v sobě integruje metaheuristiku na řešení úlohy okružních jízd (Vehicle Routing Problem). Posledním bodem této práce je kalkulace obslužnosti regionu za pomoci flotily vozidel s elektrickým pohonem a porovnání této varianty s variantou heterogenní flotily vozidel, kterou společnost využívá dnes. Výstupem je porovnání nákladovosti těchto dvou variant včetně bodu zvratu.

2. Logistika

Logistika, kterou známe dnes je stará tisíce let. Předmět zkoumání a řešení se ale stala až na začátku 20. století. Logistika vždy vycházela ze zásobování armády. Po druhé světové válce se logistice dostává větší pozornosti, protože efektivní zásobování a řízení operací může pomoci k vítězství ve válce. Do roku 1966 byl pojem logistiky vnímán jako pojem matematických definic. Logistika jako disciplína nemá přesnou definici, například americká organizace CLM (The Council of Logistics Management) definuje pojem logistika, jako: „Proces plánování, realizace a řízení efektivního, výkonného toku a skladování zboží, služeb a souvisejících informací z místa vzniku do místa spotřeby, jelikož cílem je uspokojit požadavky zákazníků.“ Oproti tomu například Pernica (1998) definuje pojem logistiky jako „disciplínu, která se zabývá celkovou optimalizací, koordinací a synchronizací všech aktivit v rámci samo organizujících se systémů, jejichž zřetězení je nezbytné k pružnému a hospodárnému dosažení daného konečného (synergického) efektu.“ [1]



Obrázek 1 Logistický systém [1]

Pojem logistiky je v dnešní době používána všude, kde je možné optimalizovat probíhající a následné procesy. V jiném slova smyslu při reálné aplikaci v podniku se logistika vztahuje na materiálové a komunikační toky vně i uvnitř podniku. Objektem logistiky je ucelený tok od vzniku požadavku zákazníka, zajišťování vstupního materiálu, výrobu, distribuce zboží zákazníkovi až po zpětný tok obalů. Tokem se v logistice rozumí posloupnost jednotlivých stavů pohybu směrem k uspokojení požadavků. S tokem je možné se setkat v následujících sektorech:

- výrobní sektor (tok materiálu, surovin, hotové výroby apod.),
- skladovací sektor (tok do skladu, proces skladování, vychystávání zboží apod.),

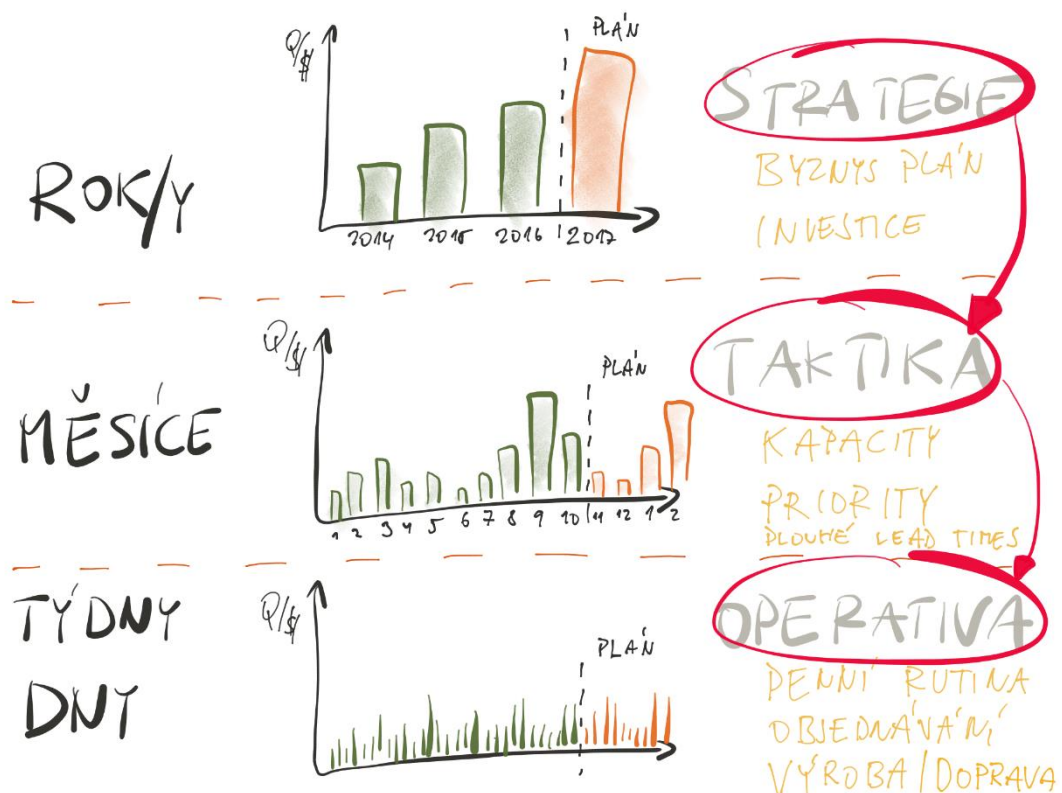
- distribuční sektor (první míle, poslední míle, přeprava mezi depy apod.),
- sektor služeb (nemocnice, banky, maloobchod, velkoobchod apod.).

Jednotlivé toky je možné rozdělit do tří kategorií, které jsou vzájemně propojené. Jde o následující kategorie:

- Fyzické toky – toky surovin, zboží, hotové výroby apod.
- Peněžní toky – toky výdajů a příjmů spojených s informačními, fyzickými toky apod.
- Informační toky – toky řídicích systémů, informací, požadavků apod.

2.1. Distribuční strategie

Distribuční strategií se rozumí způsob, jakým se budou výrobky nebo služby budou dostávat ke konečným uživatelům. Na této strategii spolupracuje mnoho různých subjektů od výroby až po obchod. Cílem je poskytnout zákazníkům požadované výrobky a služby na daném místě ve správném čase a množství. V rámci efektivní strategie je nutné zohlednit ekonomické a logistické hledisko, protože samotná distribuční strategie může ovlivnit až 80 % nákladů logistiky. Distribuční strategie patří v současné době k jednomu z nejdůležitějších faktorů, jak řídit efektivně podnik. Budování správné distribuční strategie je dlouhotrvající proces.



Obrázek 2 Distribuční strategie [21]

Optimální distribuční strategii můžeme rozdělit následovně [21]:

- *Strategické plánování distribuce*

Do této podkategorie je zařazena primárně vize společnosti, tj. jaké budou cíle společnosti v delším horizontu minimálně 5 let. Dále jakým způsobem bude probíhat transport k zákazníkovi a jak bude vypadat distribuční síť. V neposlední řadě je v tomto bodě potřeba určit vozový park.

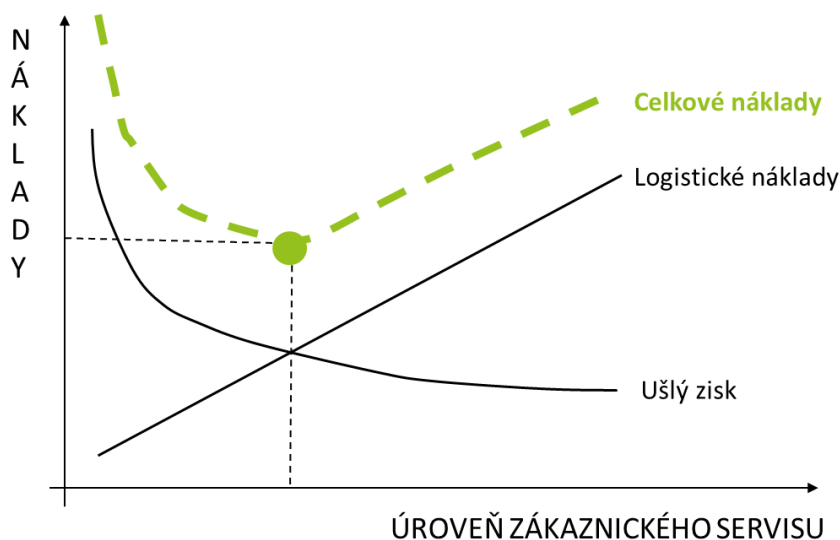
- *Taktické plánování distribuce*

Zde jsou definované detaily distribuční sítě, to znamená, jak budou konkrétně propojeny jednotlivé prvky distribuční sítě (výroba, sklady, zákazník apod.). Dalším faktorem pro taktické plánování distribuce je pak řízení pravidelných tras a s jakou frekvencí budou probíhat závozy.

- *Operativní plánování distribuce*

V této podkategorii distribuce jde primárně o denní plány a kontrolní ukazatele. To znamená, podle jakých cílových ukazatelů je distribuce řízena a jak operativně bude zboží zavezeno.

Při hledání optimální distribuční strategie se jedná o hledání komplexního řešení, kde jde primárně o rovnováhu mezi úrovní zákaznického servisu a mezi úrovní logistických nákladů.



Obrázek 3 Optimální distribuční strategie – nákladovost [21]

2.1.1. Intenzita distribuce

Intenzitu distribučních cest můžeme rozdělit přibližně na následující části [21]:

- *Intenzivní distribuce*

Tento typ distribuce se používá pro produkty, které se běžně spotřebovávají, aby byly dostupné pro každého, kdykoliv a kdekoliv. Tento způsob distribuce je charakteristický pro snadnou dostupnost produktů nebo služeb, prodej ve velkém počtu maloobchodních prodejen a nízký podíl osobního prodeje. Příkladem takových produktů jsou základní potraviny, nápoje, tabákové výrobky a podobně.

- *Selektivní distribuce*

Tato strategie distribuce předpokládá, že sortiment nabízený zákazníkům je natolik atraktivní, že jsou zákazníci ochotni vynaložit určité úsilí na návštěvu prodejního místa. Zboží je dostupné pouze na omezeném počtu prodejních míst, ale prodejci se těmto místům věnují s větší pozorností. Tento typ distribuce se obvykle využívá u zboží, které se občas spotřebovává. Selektivní distribuce je charakteristická dostatečnou odborností a profesionalitou v prodeji, včetně pomoci s výběrem zboží, a také dostatečnou spolehlivostí. Tento přístup se obvykle uplatňuje u prodeje pracovních oděvů, knih, elektrospotřebičů a podobně.

- *Exkluzivní distribuce*

Tato forma distribuce je specializována na prodej luxusních výrobků, jako jsou luxusní automobily, oděvy a módní doplňky, hodinky, šperky a podobně. Důraz se klade na prestiž a image výrobků, a proto jsou tyto výrobky obvykle prodávány za vyšší cenu. Tento typ distribuce vyžaduje vysokou úroveň profesionality a odbornosti při prodeji, vysokou úroveň poskytovaných služeb, prestižní image výrobků a specializovaný servis.

2.1.2. Formy distribuce

Distribuce může jak přímá, tak i nepřímá. Primárně se liší v procesu od výroby až k dodání cílovému zákazníkovi. Formy distribuce je možné rozdělit na dvě základní části, a to přímá a nepřímá distribuce:

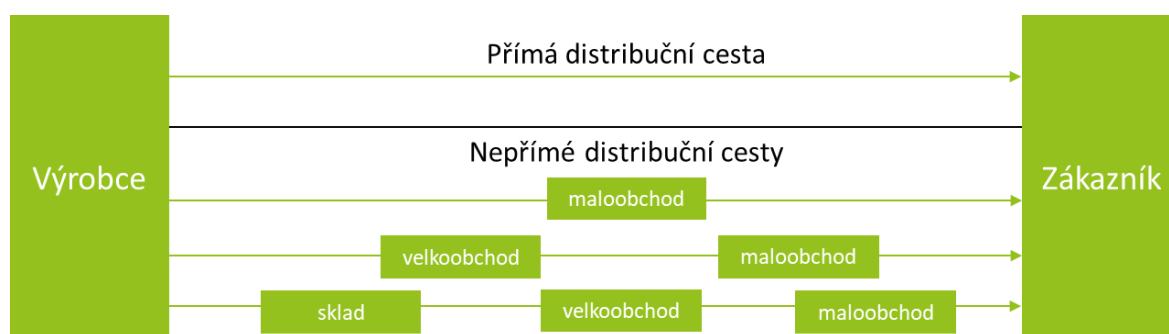
Přímá distribuce

Tento typ distribuce představuje bezprostřední kontakt mezi výrobcem a koncovým uživatelem a představuje nejjednodušší formu distribuce. Výrobce prodává své zboží přímo konečným

spotřebitelům, což umožňuje lepší kontrolu prodeje, rychlejší reakce na změny na trhu, pružnější servis a nižší logistické náklady. [21]

Nepřímá distribuce

Cesta mezi výrobcem a konečným uživatelem obvykle zahrnuje několik mezičlánků, jako jsou sklady, velkoobchody, maloobchody a zpracovatelé. S každým dalším mezičlánkem se cena zboží zvyšuje a doba dodávky se prodlužuje. Větší počet mezičlánků může také ztížit kontrolu celé distribuční cesty. Na druhé straně však rozšíření distribuční cesty umožňuje vyšší kapacitu a schopnost uspokojit požadavky větších tržních segmentů. [21]



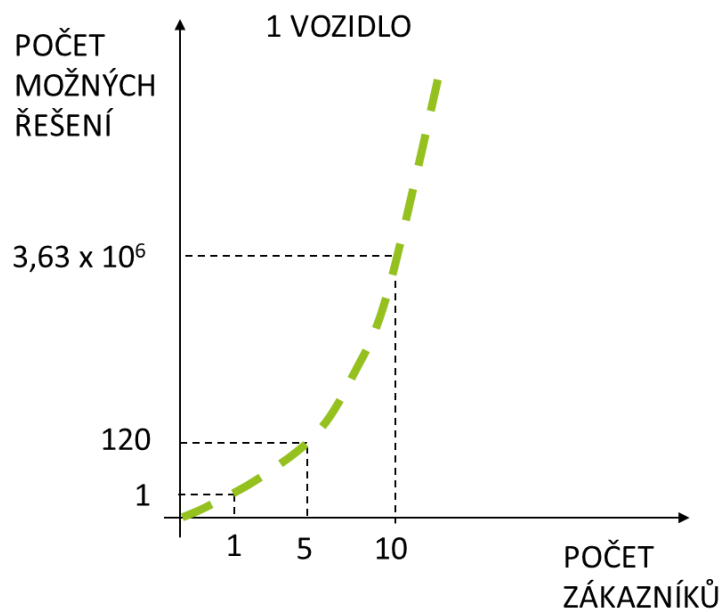
Obrázek 4 Forma distribuce [21]

Matematické modelování distribuce

Distribuční systémy a jejich součásti mohou být modelovány a řešeny pomocí nástrojů operačního výzkumu. Konkrétní úlohy spadají převážně do oblasti diskretní (kombinatorické) optimalizace. Úlohy jsou klasifikovány podle typu distribučního problému, například:

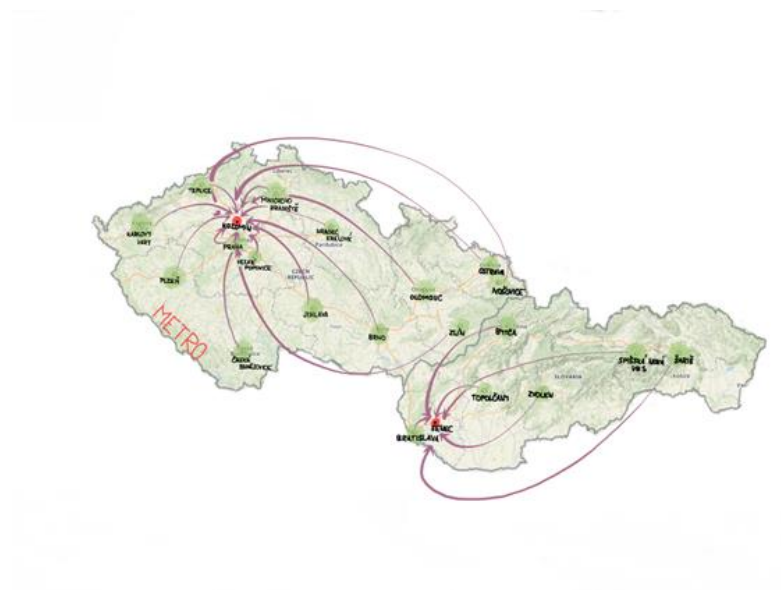
- úloha obchodního cestujícího (TSP) – nekonečně velká kapacita vozidel, je vytvořena pouze jedna trasa, která navštíví všechny definované zákazníky s minimální celkovou délkou bez dalších omezení
- rozvozní úloha (VRP) – omezená kapacita vozidel a konečné požadavky zákazníků,
- dopravní problém (TP) – homogenní produkt s přímými jízdami,
- kontejnerový dopravní problém (CTP) – přeprava v kontejnerech o dané kapacitě.

Tyto úlohy zmíněné výše se liší v definici účelové funkce a omezujících podmínek. Optimální řešení matematických problémů v oblasti distribuce je velmi náročné z hlediska výpočetního výkonu a počet možných řešení roste exponenciálně.



Obrázek 5 Počet řešení distribuční problematiky [21]

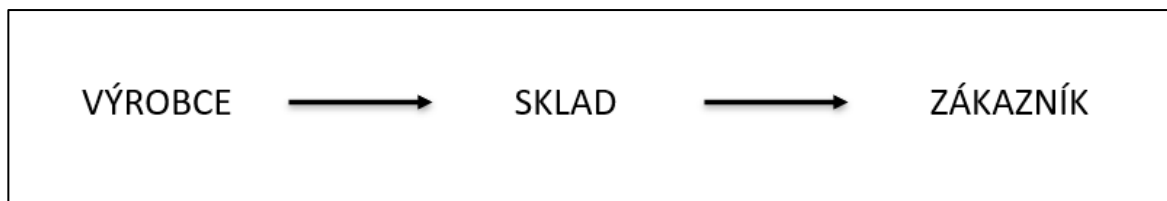
V praxi platí, že většinou se nedokážeme v reálném čase dostat k optimálnímu řešení. K tomuto účelu se často musíme spokojit s kvalitním přípustným řešením, které není optimální. S použitím heuristiky se pak hledají přijatelná řešení, která lze nalézt v reálném čase. Heuristiky nezaručují nalezení optimálního řešení ani maximální odchylku řešení od optima.



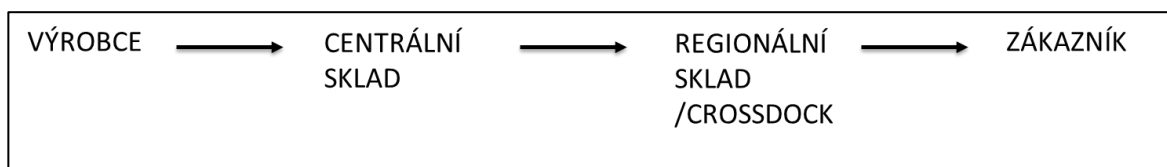
Obrázek 6 Model distribuční sítě [21]

3. Topologie distribuční sítě

Topologie distribučních sítí nám popisuje možnosti cesty zboží směrem k zákazníkovi. Topologie se v mnoha faktorech může lišit u jednotlivých firem například dle oboru nebo velikosti firmy. Jednou z možných topologií můžou být následující příklady sítí, viz níže.



Obrázek 7 Topologie distribuční sítě [vlastní zpracování]



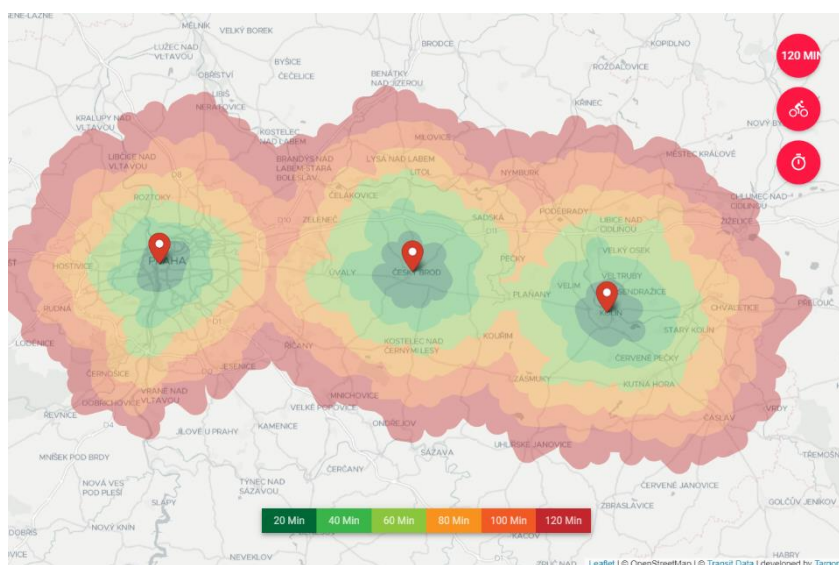
Obrázek 8 Topologie distribuční sítě [vlastní zpracování]

Vždy je možné v distribuční síti nalézt 3 hlavní části distribučního kanálu, a to následující:

- inbound – jedná se o tok mezi výrobcem a centrálním skladem,
- primární – jedná se o tok mezi sklady,
- sekundární – jedná se o tok mezi skladem a zákazníkem.

Inbound může být někdy zařazován do primární distribuce, a to na základě složitosti topologie distribuční sítě. Samozřejmě takto se jedná o příklady topologie, ale v realitě mohou jednotlivé společnosti disponovat svými vlastními topologiemi.

Další členění topologie distribuční sítě může být pak podle regionů, kdy v každém regionu jsou členěny všechny části distribučního řetězce. Regiony nejsou definované jako zeměpisné regiony, ale jsou definované na základě použití proměnné pro rozřídění zákazníků do regionů, jako je například poštovní směrovací číslo zákazníků. Jedním z dalších možných topologií distribuční sítě je pak vytvoření regionů podle isochron. Isochrony představují v distribuční síti grafické znázornění maximálního dojezdu vozidla v určitém čase. Isochrony jsou znázorněny příkladně na Obrázku 9.



Obrázek 9 Příklad znázornění isochron [6]

4. Doprava v logistice

Doprava v logistice spojuje jednotlivé objekty a subjekty na logistickém řetězci a z tohoto důvodu je jedním se základních a důležitých faktorů logického řetězce. Dopravu můžeme rozdělit na dvě skupiny:

- Mimopodniková doprava – doprava je uskutečňována od dodavatele do podniku a následně z podniku k zákazníkovi.
- Vnitropodniková doprava – doprava je uskutečňována na území podniku a zajišťuje přesun zboží po jednotlivých pracovištích procesu. [5]

4.1. Vlastní mimopodniková doprava

Vlastní doprava má své výhody i nevýhody, ale vše závisí na potřebách a plánech managementu. Flexibilita při náhlých potřebách, možnost využít specializované dopravní prostředky, důkladnější znalost obsluhy, způsobu komunikace a plánování organizace dopravy jsou hlavní výhody vlastní dopravy. Tuto metodu lze využít především v případech, kdy přepravovaná komodita vyžaduje speciální manipulaci, kterou veřejně dostupní dopravci nedokážou zajistit za rozumnou cenu. Nicméně, provoz a řízení vlastní dopravy vyžaduje pečlivou kontrolu ze strany managementu, aby nedošlo k plýtvání zdrojů, které nejsou hlavní činností podniku. [5]

4.2. Externí mimopodniková doprava

Externí mimopodniková doprava, nebo jinak řečeno outsourcing, je řešení podnikové dopravy při využití vnějších zdrojů. Jedná se o možnost řešení podnikové dopravy za nižší náklady na zabezpečení přepravy. Jedním z možných rizik, které spolu nese outsourcing je nižší kvalita služeb, flexibilita, ztráta důvěrných informací nebo ztráta kontroly nad řízením procesů. Existují dva možné přístupy k dělení poskytovatelů logistických služeb (PLS), a to následující:

a) Členění PLS do 4 úrovní

Různí poskytovatelé logistických služeb se liší svou nabídkou služeb a rychlostí reakce na změny na trhu. Klade se důraz na rozdíly v plánování, plnění a kontrole činností poskytovatelů. Dále se bere v úvahu délka vztahu mezi klientem a poskytovatelem. Existují čtyři úrovně poskytovaných služeb. [5]

- První úroveň zahrnuje základní služby, jako je doprava a skladování, s krátkodobými vztahy mezi poskytovatelem a zákazníkem.
- Druhá úroveň nám dává přidanou hodnotu a vztahy jsou omezeny na jeden rok nebo méně.

- Třetí úroveň nabízí úplné přizpůsobení se požadavkům zákazníka, včetně logistického plánování a kontroly.
- Čtvrtá úroveň umožňuje poskytovatelům rozhodovat o restrukturalizaci v dodavatelském řetězci, například přerozdělení úkolů nebo zásob mezi jiné poskytovatele. [5]

b) Členění PLS dle šesti různých úrovní

Rozdělení do šesti různých úrovní je široce známé a používá se i na mezinárodní úrovni. V oblasti poskytování logistických služeb se rozlišují následující kategorie:

- 2PL poskytovatelé, kteří jsou minimálně propojeni se zákazníkem a služby jsou poskytovány jinými poskytovateli zasílatelských, skladovacích a dopravních služeb.
- 3PL poskytovatelé, kteří nabízejí individualizované služby, včetně skladování, informací o zásilkách a komplexní logistické služby.
- 4PL poskytovatelé, kteří poskytují komplexní služby, včetně analýzy, projektového řešení a realizace logistického řetězce, a fungují jako integrátoři 3PL.
- 5PL poskytovatelé, kteří se specializují na získání vyššího stupně využití dostupných zdrojů a spolupráci v různých oblastech a agregují požadavky poskytovatelů 3PL, aby dosáhli výhodnějších smluvních podmínek s přepravními společnostmi.
- Vedoucí poskytovatelé LLP, kteří se zaměřují na výrobní závody a přebírají řízení logistických řetězců svých klientů.
- A nakonec poskytovatelé kurýrních, expresních a balíkových služeb (KEB), kteří nabízejí širokou škálu služeb, od doručování dopisů a dokumentů po balení zásilek a pojištění. V České republice jsou příkladem KEB poskytovatelů státní podnik Česká pošta a společnost DHL. [5]

5. Služby

Podle definice ze statistického slovníku OECD jsou služby označovány jako výstupy vyráběné na zakázku. Služby nejsou samostatné entity, na které by se mohla vztahovat vlastnická práva. Nelze s nimi obchodovat odděleně od produkce jejich vlastní výroby. Služby jsou heterogenní výstupy vyráběné na zakázku a skládají se z podmínek spotřebitelů. Před ukončením výroby musí být poskytnuty spotřebitelům. Služby dělíme na přepravní, sběrné a zasílatelské. [3]

5.1. Přepravní služby

Proces přepravy zboží v prostoru i čase představuje hodnototvorný proces. Toto tvrzení nám umožňuje vyvodit závěr o obchodovatelnosti přepravních služeb a jejich charakteristikách jako komplementárních službách k obchodu s materiálními statky. Vzájemná obchodní výměna vytváří různé ekonomické, technické a právní vztahy mezi různými subjekty na trhu. Z povahy obchodu jako občanskoprávního systému vztahů vycházejí také právní vztahy v oblasti přepravy. [3]

5.2. Sběrné služby

Obecně platí, že sběrná služba je založena na rychlé a účinné přepravě kusových zásilek. Je založena na sběru zásilek od různých odesílatelů, kteří se nacházejí v sběrném obvodu, a jejich přepravě do sběrného centra (depa), kde se zásilky konsolidují do větších zásilek a putují na centrální překladiště nebo třídící centrum. Přepravce obvykle zajišťuje sběr zásilek a velkokapacitní přepravu, ale komplexní přepravní služby může poskytovat i dopravce. Přepravní služby zahrnují skladování, konsolidaci, dodatečné balení, celní operace, označování atd. Tato služba se obvykle vykonává v systému časově garantovaných přeprav. [4]

5.3. Zasílatelské služby

Pro uspokojení potřeb zákazníka je nutné brát v úvahu i proces cesty zásilky k zákazníkovi, to znamená, jakým způsobem se dostane zásilka k zákazníkovi. Při překonávání vzdáleností z jednoho konce logistického řetězce na druhý jsou využity firmy (třetí strany), které se těmito službami zabývají. Do těchto služeb řadíme i zasílatelské firmy, které je možné charakterizovat jako souhrn činností, které poskytuje zasílatel příkazci při přepravě balíkových a kusových zásilek. [4]

Dle Pernicy je možné členit zasílatelské společnosti z pohledu

- teritoriálního území,
- zákazníků,
- poskytovaných činností.

Zasílatelské společnosti se odlišují i na základě velikosti společnosti. Dle definice Pernicy se jedná o společnosti malého až středního charakteru.

Zasílatel neboli speditér je subjekt, který na své vlastní jméno na účet příkazce obstarává přepravu pro transport zásilky příkazce. Zasílatel má v kompetenci organizovat celý dopravní proces i se zajištěním dané dokumentace k přepravě zásilky. Další činností zasílatele je konsolidace malých zásilek do větších celků a zprostředkování dopravy do konečného bodu.

[5]

Přepravce je naopak souhrnné označení pro odesílatele a příjemce. Odesílatel je fyzická nebo právnická osoba, která se účastní celého procesu na základě smlouvy o přepravě. Příjemce je taktéž fyzická a právnická osoba, ale z pohledu smlouvy o přepravě jde o definování příjemce zásilky. [5]

5.4. Balíkové, expresní a kurýrní služby

Kurýrní služby jsou přepravní služby specializující se na přepravu, zasílání a doručování malých zásilek. Tyto zásilky jsou obvykle omezeny velikostí, hmotností a obsahem. Kurýrní společnosti nabízejí také doplňkové služby, jako je pojištění a celní zpracování. Jejich primární službou je pak osobní doručení a předání zásilky. Tyto služby mají vysoký standard a umožňují sledování zásilek prostřednictvím elektronického přenosu dat.

Podle asociace ČAMEP (Česká asociace mezinárodních expresních přepravců) jde o expresní kurýrní službu, pokud jsou vykonávány 4 služby z níže uvedených:

- Služba, přizpůsobená individuálním požadavkům týkající se převzetí, přepravy a doručení zásilky,
- služba, která umožňuje změnit adresu doručení při přepravě,
- služba, která umožňuje převzetí zásilky v místě určeném odesílatelem,
- služba, která umožňuje osobní doručení příjemcovi,
- služba, která umožňuje potvrzení odesílatelovi a doručení zásilky,
- služba, která umožňuje monitorování zásilky v průběhu přepravy a možnost skladování příjemcům a odesílatelům.

Dále je možné členit kurýrní služby dle CEP (Courier, Express, Parcel) následovně:

- Dle vztahu odesílatele a příjemce
 - B2B (business-to-business)
 - B2C (business-to-consumer)
 - C2C (consumer-to-consumer)
- Dle hmotnosti zásilky
 - Zásilky do 30 kg
 - Zásilky od 30 kg až po 1 500 kg
- Dle rychlosti doručení
 - Express – jedná se o doručení do druhého dne nebo ideálně ten samý den od objednání
 - Standard – doručení ve standardní časové lhůtě, a to 3-4 dny
- Dle geografické působnosti
 - Vnitrostátní
 - Mezinárodní

Dle výše uvedených kategorií a kritérií je možné subjekty, které operují na daném trhu porovnat jednodušším způsobem. V praxi je možné definovat pojmy expresní, balíková a kurýrní služba následovně:

Balíková služba

- Tato služba je využívána při přepravě zásilek do 30 kg, a to v rámci pozemní dopravy. Primárně se jedná o vnitrostátní přepravu anebo omezenou přepravu do okolních států. Přepravné se účtuje za každý kus v definovaném rozmezí hmotnosti. K největším poskytovatelům balíkových služeb patří DPD, PPL, GLS. Balíková služba se v dnešní době vyznačuje automatizovaným tříděním, a proto jsou balíky označovány EAN čárovými kódy pro snadné načtení balíku do systému společnosti. [3]

Expresní služba

- Jedná se o zásilky do výše hmotnosti až 1,5 tuny. Některé společnosti nabízejí takto těžké zásilky pod služnou „Special services“. Doprava je vykonávána pozemní i leteckou dopravou a to celosvětově. Oproti balíkovým službám není cena účtována za jeden kus zásilky, ale za celkový počet zásilek přepočítaný na hmotnost dle rozmezí hmotnosti. Expresní služby se primárně vyjadřují rychlostí dodání zákazníkovi. Nejčastěji je možné se setkat se službou doručení do 8 hodin nebo do 12 hodin. K nejznámějším společnostem zabývající se těmito službami je například DHL, UPS, FedEx. [3]

Kurýrní služby

- Specifickým znakem kurýrních služeb je způsob doručení, kdy se klade důraz na poskytování kvalitních služeb při doručování zásilek „ke dveřím“ zákazníka. Vyznačuje se vysokou bezpečností v přepravním řetězci. Kurýrní služby disponují vysokým standardem s podporou elektronického přenosu dat pro sledování zásilek při přepravě a s vysokým standardem neustálé kontroly kvality. [3]

Poskytovatelé kurýrních, expresních a balíkových služeb jsou specializovanými subjekty pro mezinárodní a mezikontinentální doručování malých zásilek. Tyto subjekty spadají pod mezinárodní asociaci zasílatelských svazů FIATA (the International Federation of Freight Forwarders Associations), která hájí zájmy zasílatelských společností na mezinárodní úrovni. Asociace FIATA byla založena v roce 2016 a je nejvýznamnější zasílatelskou asociací a nevlivnější nevládní organizací v oblasti přepravy. [5]

6. Logistické technologie

V oblasti logistiky se zaměřujeme na optimalizaci jednotlivých operací a procesů pomocí vhodných přístupů a řídicích procedur. Cílem je poskytovat logistické služby na úrovni, kterou požaduje zákazník, za co nejnižší náklady, nebo naopak za stanovené náklady dosáhnout co nejvyšší úrovně poskytovaných služeb. Tyto procesy a operace jsou organizovány do dílčích ustálených procesů, které se nazývají logistické technologie. [7]

V průběhu rozvoje moderní logistiky bylo vytvořeno mnoho logistických technologií, které se neustále vyvíjejí a zdokonalují na základě získaných zkušeností. Mezi nejvýznamnější a nejčastěji používané technologie v logistice patří:

- Just In Time, Kanban
- Quick Response
- Hub and Spoke
- Cross-docking

6.1. Just in Time

V průmyslové logistice se nejčastěji používá technologie Just in time (JIT), která spočívá v dodávání materiálů, dílů a hotových výrobků do výrobního procesu nebo distribučního řetězce přesně včas podle potřeb odběratele. Tento přístup se zaměřuje na snížení nákladů tím, že se eliminují zbytečné zásoby a dodávají se malé množství zboží v pravidelných intervalech.

Cílem JIT strategie je zjednodušit a zefektivnit vnitropodnikové a mimopodnikové toky informací a materiálu tak, aby výroba byla v souladu s poptávkou. Zásadním prvkem této strategie je eliminace zásob a dosažení výroby bez zásob. JIT strategie zahrnuje nejen minimalizaci stavu zásob, ale také metody plánování výrobních toků a zajištění kvality produktů. [7]

6.2. Quick Response

Technologie Quick Response (QR) se zaměřuje na sledování spotřebního zboží od jeho výroby až po prodej koncovým zákazníkům v maloobchodní síti. V USA se začala používat v osmdesátých letech pro textilní a oděvní zboží a postupně se rozšířila i do Evropy.

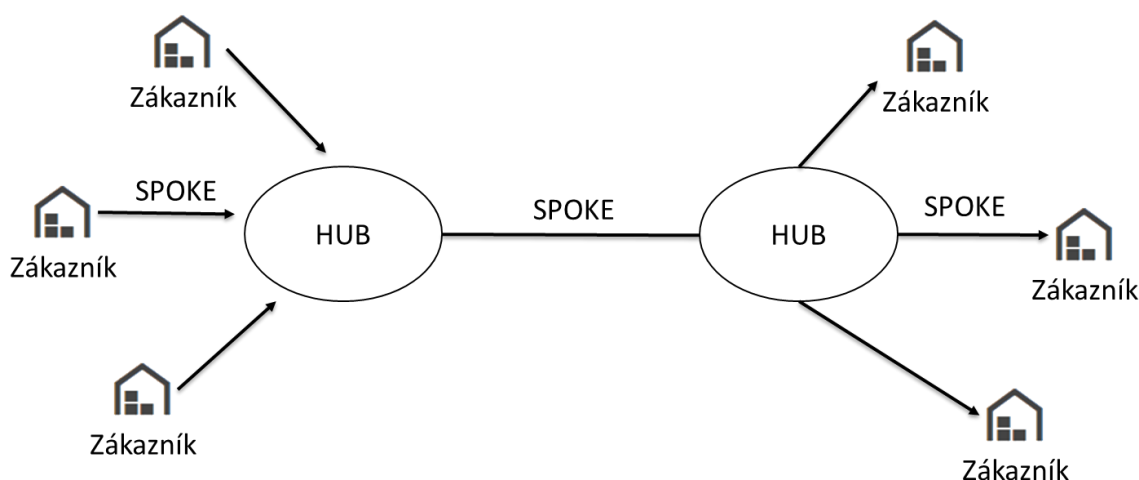
Na rozdíl od technologie JIT, která se obvykle používá pouze mezi dvěma sousedními články v logistickém řetězci (dodavatelem a odběratelem), QR je zaměřena na celý řetězec dodávek, včetně partnerství mezi výrobcí a maloobchodníky. Každý článek v řetězci má informace

o všech ostatních, jako jsou prodeje, objednávky a zásoby. K tomu je zapotřebí automatické identifikace (čárové kódy) a elektronické výměny dat (EDI). Tento systém umožňuje sledovat pohyb jednotlivých výrobků od výroby až po prodej zákazníkům a získané informace jsou v reálném čase předávány všem článkům v logistickém řetězci včetně dodavatelů surovin. [7]

6.3. Hub and Spoke

Technologie Hub and Spoke spočívá v tom, že menší zásilky jsou spojovány do větších celků a po přepravě kapacitními dopravními prostředky jsou opět rozděleny na menší zásilky. Tento proces se děje na kratší vzdálenosti pomocí menších nákladních automobilů.

Dálková přeprava mezi centry je zajištěna železnicí, kamiony, loděmi a letadly, a využívají se také kontejnery. Tato technologie je vhodná pro častější, ale menší dodávky zboží, protože je ekologičtější a levnější než systém Just in Time. Náklady na dálkovou přepravu velkými dopravními prostředky jsou nižší a dražší rozvoz menších zásilek na krátkou vzdálenost nezvyšuje celkovou cenu příliš vysoko. Při dobré organizaci je možné zásobovat odběratele pravidelnými malými dodávkami podobně jako v systému JIT. Na Obrázku 10 je zobrazeno zjednodušené schéma této logistické technologie. [7]



Obrázek 10 Ilustrace HUB and Spoke logistické technologie [vlastní zpracování]

6.4. Point-to-point

Point-to-point doručení je způsob doručení, při kterém je zásilka přepravována přímo od odesílatele k příjemci bez dalších překládání zásilek nebo více manipulací, které by mohly proces zpomalit. Tento způsob doručení se vyznačuje vyšší rychlostí a bezpečností doručení a nejčastěji se používá pro přepravu důležitých zásilek nebo zásilek s vysokou hodnotou. [7]

6.5. Cross-docking

Cross Docking je systém distribuce, při kterém se zboží doručené do distribučního centra neuskładňuje, ale okamžitě přeposílá do konkrétní maloobchodní jednotky v požadovaném množství a složení. Tento proces kompletace dodávek vyžaduje přesnou synchronizaci všech příchozích a odchozích dodávek, aby se minimalizovalo zbytečné skladování, vracení dodávek a zpracování chybných zásilek a aby se snížily distribuční náklady. Existují dva typy Cross Docking technik, a to paletový a krabicový.

- Paletový Cross Docking je způsob distribuce, kdy jsou palety bez jakýkoliv úprav překládány do návěsu kamionu. Palety od jednotlivých dodavatelů jsou konsolidovány a následně přepraveny příjemci. [7]
- Krabicový Cross Docking je způsob distribuce, kdy zboží na paletách od různých dodavatelů je kombinováno a sestaveno do jedné dodávky. Primárně jde o rozebrání palet od jednotlivých dodavatelů a sestavení tzv. mixovaných palet. Následně jsou tyto mixované palety naloženy a odeslány ke konkrétním spotřebitelům. [7]

Cross Docking umožňuje redukovat skladové zásoby v distribučním centru, zlepšit efektivitu dopravy a snížit dodací lhůty. Zároveň může být redukována potřeba skladových prostorů. Tento systém zvyšuje kvalitu zboží v místě spotřeby a je vhodný pro všechny, kteří distribují velké množství zboží od různých dodavatelů do svých prodejen. [7]

7. Vybrané metody pro řešení problému

7.1. Základní dělení

V kapitole „Vybrané metody pro řešení problému“ popisujeme metody, které byly vyvinuty k řešení problémů kombinatorické optimalizace. Většina těchto metod není omezena pouze na řešení problémů logistického plánování, ale lze je obecně aplikovat na širokou škálu problémů, které lze nazvat globální optimalizační problémy. Tyto problémy se zabývají hledáním minima nebo maxima účelové funkce, která odpovídá zvolenému kritérii. V rámci řešení jsou vždy definovány omezující podmínky a rozhodovací proměnné jsou optimalizovány s ohledem na tato omezení. [8]

Seznam dostupných metod řešení lze rozdělit do tří skupin:

- Exaktní metody
- Klasické heuristiky
- Metaheuristiky

7.1.1. Exaktní metody

Exaktní metody vrací vždy optimální řešení problému a poskytují důkaz, že získané řešení je optimální. Tyto metody však lze použít pouze na menší instance obtížných problémů. Velikost úlohy není jediným ukazatelem rozhodujícím o obtížnosti a požadovaném čase pro řešení problému. Dalším ukazatelem je také struktura úlohy. Některé relativně malé problémy nelze řešit exaktními algoritmy, ale jiné problémy, které mohou být mnohem větší, lze optimálně vyřešit stejným algoritmem.

Výzkum exaktních metod pro obtížné problémy má dnes odlišný cíl než u heuristik, které se používají převážně pro velké reálné problémy. Cílem exaktních algoritmů je prohloubení znalostí o jednotlivých problémech, vhodné formulaci a modelech a také poskytnutí optimálního řešení pro standardní úlohy, aby sloužilo jako základ pro srovnání kvality řešení získaných pomocí heuristik.

V rámci třídy exaktních metod můžeme jmenovat následující algoritmy: dynamické programování, algoritmy branch and bound, branch and cut, branch and price nebo jejich kombinace. Tyto zmíněné algoritmy pocházejí z oblasti operačního výzkumu, programování s omezujícími podmínkami a jsou součástí vyhledávacích algoritmů vyvinutých v oblasti umělé inteligence (IDA – iterative deepening algorithm). Tyto metody pracují na principu algoritmů pro prohledávání stromu. Prohledávání probíhá po celém zajímavém prohledávacím prostoru a problém je řešen rozdělením na menší problémy. [8]

7.1.2. Klasické Heuristiky

Klasické heuristiky jsou, na rozdíl od exaktních algoritmů, metody, které nezaručují nalezení optimálního řešení problému a ani nezaručují kvalitu nalezeného řešení – kvalita může být velmi špatná. Nicméně, tyto metody zaručují nalezení řešení v rozumném čase a často jsou taková řešení prakticky uspokojivá. Heuristiky jsou testovány empiricky a hodnocení jejich výkonu je založeno na těchto testech. Hlavním využitím heuristik je řešení reálných problémů s velkými instancemi, kde je rychlost klíčová. Slovo "heuristika" pochází z řeckého slova "heuriskein", což znamená umění objevovat nové strategie (pravidla) pro řešení problémů. Jednou z možností, jak přistupovat k řešení optimalizačních problémů je řešení za použití heuristických algoritmů. [8]

Aproximační algoritmy

Jednou z kategorií klasických heuristik jsou aproximační algoritmy. Tyto algoritmy zajišťují záruku chyby řešení. Metoda aproximačních algoritmů může například garantovat, že řešení bude nejvýše k -krát dražší než optimální řešení. Polynomiální aproximace (PTAS) a plně polynomiální aproximace (FPTAS) jsou dvě třídy aproximačních algoritmů, které mohou poskytnout řešení s jakoukoli požadovanou přesností. Tyto metody lze definovat následovně:

Pro libovolnou instanci I daného problému a libovolné $\epsilon > 0$ může PTAS nebo FPTAS vrátit řešení s , kde platí $f(s) \leq (1 + \epsilon) Opt$ (pro minimalizační problém), kde Opt je optimální řešení a $f(s)$ je účelové funkce řešení s .

Pro některé problémy není možné sestavit PTAS nebo FPTAS. Dokonce i použití aproximačního algoritmu může být nepraktické, protože záruka chyby může být velmi nízká a časová náročnost velmi vysoká. [8]

7.1.3. Metaheuristiky

Metaheuristiky představují stejně jako heuristiky třídu algoritmů, které poskytují přibližné řešení. Metaheuristiky oproti aproximačním algoritmům z klasických heuristik neposkytují garanci chyby. Samotné aproximační algoritmy se nachází v hierarchii algoritmů mezi heuristikami a exaktními algoritmy, a to tím že poskytují záruku chyby. Výstupem těchto algoritmů jsou přibližná řešení složitých problémů vědy a inženýrství v racionálním čase. Metaheuristiky lze chápat jako obecný rámec, který lze použít na celou řadu různých optimalizačních problémů s pouze mírnými úpravami, které jsou potřebné k adaptaci algoritmu na konkrétní problém.

Předpona "meta" také pochází z řečtiny a znamená "nadřazenou metodologii". Metaheuristika je označována jako výpočetní metoda, která optimalizuje řešení problému iterativním postupem, kdy opakovaně zkouší zlepšovat kandidátní řešení. [8]

Hlavním rozdílem oproti klasickým heuristikám je možnost opustit lokální optimum za určitých okolností, a to v případě, že v jiné oblasti řešení existuje možnost najít řešení s lepší hodnotou účelové funkce. K tomuto účelu metaheuristiky obvykle používají určitý kompromis mezi náhodným výběrem a lokálním prohledáváním, i když některé deterministické metody jsou často považovány za metaheuristiky. V literatuře jsou termíny heuristika a metaheuristika často zaměňovány. Heuristiky jsou často metody specifické pro konkrétní problém, zatímco metaheuristiky lze vždy přizpůsobit různým problémům.

Metaheuristiky lze dále rozdělit do dvou hlavních tříd: metaheuristiky založené na jediném řešení a metaheuristiky založené na populaci. Nicméně některé speciální typy metaheuristik nezapadají přesně do této klasifikace a lze je zmínit zvlášť. Hybridní metaheuristiky kombinují metaheuristiky s jinými přístupy, jako jsou matematické programování, omezené programování s omezujícími podmínkami nebo metody strojového učení. Byly navrženy také speciální modely a metaheuristiky pro vícekritériální optimalizaci. [8]

- *Metaheuristiky s inspirací a bez inspirace přírodou*
Mezi metaheuristiky, které patří do kategorie metod, které našly svou inspiraci v přírodních procesech, mohou být zmíněny evoluční algoritmy a umělé imunitní systémy (biologie); kolonie mravenců, včel (a dalších) a optimalizace rojem částic (společenské vědy); simulované žíhání (fyzika).
- *Metaheuristiky s použitím a bez použití paměti*
Některé algoritmy fungují bez použití paměti, nepoužívají zkušenosti z minulého hledání k ovlivnění budoucího směru hledání. Mezi ně patří například simulované žíhání nebo GRASP. Použití paměti lze najít v optimalizaci kolonií mravenců, při které se nepřímé informace o dříve navštívených řešeních uchovávají pomocí feromonových stop.
- *Deterministické a stochastické metaheuristiky*
Deterministické metaheuristiky používají pouze deterministická rozhodnutí během optimalizačního procesu (lokální hledání), během hledání těchto metod je vždy použito nejlepší řešení v definovaném okolí a z daného počátečního řešení vždy získáme stejné finální řešení. U stochastických metaheuristik jsou zahrnuty některé náhodné prvky a můžeme získat různé výsledky z toho samého počátečního řešení (simulované žíhání, evoluční algoritmy).

- *Iterativní a greedy metaheuristiky*

V iterativním algoritmu se v každé iteraci použije kompletní řešení, které se během optimalizačního procesu transformuje pomocí některých vyhledávacích operátorů. Na druhé straně v greedy metaheuristikách začíná hledání s prázdným řešením, které se postupně vytváří přidáváním rozhodovacích proměnných až do získání kompletního řešení. Většina metaheuristik patří do kategorie iterativních algoritmů.

Algoritmus simulovaného žíhání

Simulované žíhání je pravděpodobnostní optimalizační algoritmus, který se používá k nalezení globálního extrému funkce. Algoritmus je založen na Boltzmannově rozdělení (viz níže) a může najít uspokojivé suboptimální řešení v přijatelném čase. [18]

Nechť Ω je prostor všech cest, následně pravděpodobnost pro zjištění, že se nacházíme v konkrétní cestě je dána vzorcem pro Boltzmannovo rozdělení:

$$P(X = x) = \frac{1}{Z(\beta)} e^{-\beta H(x)}$$

Algoritmus je řazen do metaheuristik a lze použít na celou řadu optimalizačních problémů. Simulované žíhání je jednou z možností používanou pro řešení CVRP problému. Pro simulované žíhání u CVRP platí, že se nejprve náhodně vygeneruje počáteční řešení, a to je označeno jako aktuálně nejlépe dosažené řešení. Dalším procesem je nalezení lepšího řešení za pomoci posunů vrcholů. Mezi postupy pro posun vrcholů patří výměny, vkládání nebo reverzní posun. Pokud je nově dosažené řešení lepší než stávající řešení, je nahrazeno tím lepším. V opačném případě se vypočítá malá pravděpodobnost přijetí horšího řešení. Pokud je řešení lepší než nejlepší nalezené řešení, je opět nahrazeno lepším řešením. Tyto iterace probíhají vícekrát a algoritmus končí v případě, že aktuální teplota je menší než konečná teplota. [22]

Metoda *Ruin and Recreate*

Metoda "Ruin and Recreate" navrhuje použít už dobře známé koncepty Simulovaného žíhání s odvážnými a velkými kroky místo těch malých. Pro jednoduše strukturované problémy, jako je problém obchodního cestujícího, není skutečně nutné používat velké kroky, protože algoritmy obvykle poskytují téměř optimální řešení již s velmi malými kroky. Oproti tomu při řešení složitých problémů je možno narazit na velké obtíže při použití klasických algoritmů.

Řešení složitých problémů často musí splňovat mnoho omezení a často je dokonce obtížné získat pouze přípustná řešení. Mnoho forem klasických algoritmů se snaží "problém přípustnosti" vyhnout tím, že modelují umělé penalizační funkce, ale obvykle se uváznou v "trochu nepřípustných" řešeních, která vůbec nemusí být povolena. [19]

Dle G. Schrimpfa je možné použít nové paradigma s názvem: *Ruin and Recreate*. Je zničena poměrně velká část řešení a následně co nejlépe obnovena. Metoda přepokládá, že nové řešení bude lepší než předchozí. Zničit nebo také „*Ruin*“ je možné cokoliv, záleží na typu úlohy a jaké proměnné jsou optimalizovány. Mohou to být vozidla, zásilky nebo zákazníci. Klasickou metodou zničení je radiální zničení, které vychází z obrazového znázornění. Náhodně je vybrán uzel a náhodné číslo, které v předem definovaném rozmezí určuje velikost zničené části řešení a zároveň toto číslo určuje počet nejbližších sousedů zvoleného uzlu, kteří budou odstraněni z množiny. Nejbližší sousedé jsou definováni podle určité metriky. Pro příklady s vozidly a VRP problémem byla použita podle článku euklidovská vzdálenost. Možnosti, jakými je možné přistupovat ke zničení je mnoho, záleží na konkrétním případě. [19]

V případě, že jsme zničili řešení, tedy jinými slovy máme množinu zákazníků, kteří již nejsou obsluhováni. Obnova řešení znamená opětovné vložení těchto zničených zákazníků zpět do systému. Dle G. Schrimpfa bylo do této metody pro opětovné vkládání použito řešení s názvem *Best insertion*. Tento princip s názvem *Best insertion* znamená, že jsou postupně zákazníci přidáváni do řešení a každý zákazník je vložen na takovou přípustnou pozici, která minimalizuje účelovou. Je zaručeno, že nebude porušeno žádné omezení a tím pádem každé obnovení je dokončeno plně přípustným řešením. [19]

Postup optimalizace při použití metody *Ruin and Recreate* je následující:

- Je nastavena vstupní konfigurace.
- Je zvolen druh zničení.
- Je zvolen počet uzlů, které mají být odebrány.
- Následuje proces zničení.
- Dalším krokem je proces obnovení.
- Závěrečným krokem je nutné rozhodnout, zda nové řešení je lepší než to předchozí.

7.2. Problém okružních jízd (VRP)

Úloha CVRP (Capacitated Vehicle Routing Problem) neboli problém okružních jízd řeší, jak obsloužit jednotlivé zákazníky na trase. Obecný problém VRP může být definovaný na orientovaném i neorientovaném grafu. V našem případě budeme dále pracovat

s neorientovaným grafem $G = (V, E)$, kde V je množina vrcholů a každý vrchol představuje jednoho zákazníka. Zákazníků je $n-1$ a depo je značeno proměnnou v_0 . Trasa je složená z vrcholů a hran, kde trasa $R_i = \{v_0, v_1, v_1 + 1, \dots, v_0\}$, kde i je délka trasy R_i . Každá trasa začíná a končí ve vrcholu v_0 . Každá hrana má přiřazené ohodnocení, které odpovídá délce hrany nebo času průjezdu hranou ve formě nákladů. Vozový park je složený z m vozidel, která mají stejnou kapacitu K . Vstupem pro řešení problému je účelová funkce a omezující podmínky. Cílem je určit takovou množinu tras pro vozidla, aby celkové náklady byly minimální. Celkové náklady jsou obvykle vztaheny k celkové ujeté vzdálenosti. Výstupem je přípustné řešení, které minimalizuje účelovou funkci. Dále musí být splněny následující omezení:

- Omezení 1 – celková poptávka na trase nepřekročí kapacitu vozidla.

$$\sum_{v \in R_i} d_v < K$$

- Omezení 2 – každý zákazník je obslužen právě jednou jedním vozidlem.

$$\bigcup_{i=0, \dots, m-1} R_i = V$$

$$R_i \cap R_j = \{0\}, \text{ pro } \{i = 0, \dots, m-1\}, \{j = 0, \dots, m-1\}, i \neq j$$

- Omezení 3 – celkové řešení je složeno z jednotlivých tras a výsledkem účelové funkce je minimalizovat celkové náklady.

$$C(S) = \sum_{i=0}^m C(R_i), \text{ kde } C(R_i) = \sum_{k=0}^{l_i} C_{k,k+1}$$

7.2.1. VRP varianty

V praxi je využíváno mnoho variant VRP problému s ohledem na rozdílné požadavky a parametry. Nejčastější omezující podmínky jsou následující: povolená kapacita vozidla, délka trasy, časová okna a v důsledku této variantnosti existuje celá řada VRP problému. V současné době patří k dalším omezením pick-up and delivery, heterogenní vozový park nebo omezující podmínky pro E-VRP problémy. Omezení se mohou kombinovat a vznikají

tak složitější úlohy k řešení s více typy omezujících podmínek. Tyto úlohy se označují jako „rich VRP“. V bodech níže jsou uvedeny příkladné VRP problémy.

- *Problém okružních jízd s parametrem vyzvednutí a doručení (VRPPD)*

V problému VRP s vyzvednutím a doručením VRPPD (Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery) musí heterogenní vozový park umístěný v několika terminálech splnit sadu přepravních požadavků. Každý požadavek je definován bodem naložení, odpovídajícím bodem vykládky a množstvím zboží nebo osob, které mají být přepraveny mezi těmito místy. Jinými slovy problém VRPPD se zabývá sestavením optimálních tras tak, aby byla navštívena všechna místa a byly splněny podmínky priorit a párování. Podmínkou priorit se rozumí, kdy každé místo vyzvednutí musí být navštíveno před návštěvou odpovídajícího místa dodání. Oproti tomu párovací podmínky definuje omezení množin přípustných tras tak, že jedno vozidlo musí provést jak vyzvednutí, tak i doručení nákladu jednoho požadavku na přepravu. Cílová funkce obvykle minimalizuje náklady celého systému. [9]

- *Problém okružních jízd s časovými okny (VRPTW)*

V problematice řešení VRPTW (Vehicle Routing Problem with Time Window) stále platí kapacitní omezení vozidel jako je tomu v problematice VRPPD. Dále je zde počítáno s časovými okny, a proto každý zákazník má přiřazený časový interval $[a_i, b_i]$ pro časové okno a dobu obsluhy. Tato omezení omezují časy, kdy je zákazník k dispozici pro přijetí zásilky. Problematika VRPTW je v praktických řešeních často využívána.

7.3. Problém okružních jízd elektrických vozidel (E-VRP)

Vzhledem k tomu, že společnosti si uvědomují problematiku životního prostředí a jsou tlačeny do podmínek redukování CO₂ a minimalizace nákladů, stále častěji přechází na elektrický pohon jejich vozidlového parku. V dopravě se jedná především o společnosti, které doručují zboží na tzv. last mile delivery (doručení na poslední míli) a vzhledem k vysokému objemu doručovaných zásilek až ke dveřím zákazníku přispívají hlavně ve městech k přetížení ulic dopravou a znečištění emisemi a hlukem. Elektromobily jsou energeticky mnohem účinnější než konvenční vozidla. Hlavní úspory elektromobility jsou očekávány v úspoře energií v městské nákladní dopravě. Ve srovnání s konvenčními vozidly mají elektromobily mnohem kratší dojezd od zhruba 100 do 500 km na jedno nabití. Proto je nutné uvažovat při využití těchto vozidel k doručování zásilek i na dobíjení během dne.

Pro problematiku s dobíjením během doručování zásilek a problematikou elektromobilů existuje problém okružních jízd se zohledněním elektromobility (EVRP). EVRP (Electric Vehicle Routing Problem) problém dokáže zajistit nalezení optimální strategie plánování trasy při zohlednění následujících podmínek. [13]

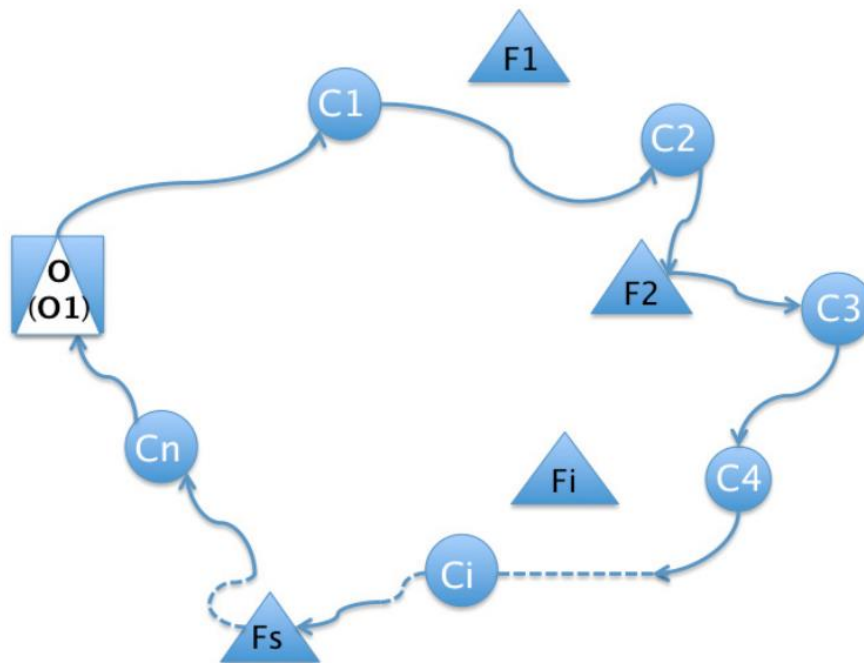
- Minimalizace celkových nákladů.
- Každý zákazník je navštíven právě jednou, jedním vozidlem.
- Celková poptávka nepřekročí kapacitu vozidel na trasách.
- Každou nabíjecí stanici mohou vozidla navštívit jednou, vícekrát nebo ani jednou.
- Nabíjení vozidel se předpokládá na plnou kapacitu, tedy na 100 %.
- K obslužení všech zákazníků v obsluhované oblasti je zapotřebí minimálního počtu elektrických vozidel.
- Existuje jediné depo, ve kterém začínají a končí všechna vozidla.
- Rychlost dobíjení baterie EV je konstantní.
- Baterie se po každé návštěvě nabíjecí stanice znovu nabije na plnou kapacitu.
- Celkový limit pracovní doby EV je dle předpisů.
- U jednotlivých zákazníků nejsou definována žádná časová okna.

EVRP problém dokáže v rámci výpočtů zohlednit i vliv zatížení nákladu na spotřebu energie.

7.3.1. Formulace problému

Formulace problému EVRP vychází z již známe formulace VRP, kde $V = (N \cup F, A)$ je graf kde množina vrcholů N je tvořena kombinací množiny zákazníků $N_0 = \{1, 2, \dots, i, \dots, j, \dots, n\}$ depa $\{O\}$ a množinou dobíjecích stanic $F = \{n+1, n+2, \dots, n+s\}$. Množina dobíjecích stanic zahrnuje i dobíjecí stanici O_1 umístěnou na vstupním depu. Množina A , kde $A = (i, j), \forall i, j \in N \cup F, i \neq j$ pak v modelu značí hrany. Oproti CVRP jsou na trasách jako vrcholy značeny i právě zmíněné dobíjecí stanice, které mohou být navštívené jednou, vícekrát nebo ani jednou. Každé hraně (i, j) je přiřazen nezáporný cestovní čas t_{ij} a vzdálenost d_{ij} . Pro problém EVRP je předpokladem, že cestovní rychlost v_{ij} je konstantní v průběhu trasy mezi i a j . K doručování a vyzvednutí zásilek na trase lze pak použít M elektrických vozidel. EVRP problém popisuje graficky níže Obrázek 1. Pravidlo pro dobíjení je definováno následujícím způsobem, elektromobil je při zahájení trasy plně nabitý v depu O . EV (Electric vehicle) může být jednou nebo vícekrát nabito na kterékoliv nabíjecí stanici definované množinou F během trasy. Po skončení celého okruhu je vozidlo dopraveno do depa a plně nabito. [13]

EVRP problém se snaží najít minimální počet vozidel, které navštíví každého zákazníka právě jednou, aby celkové náklady (doba cesty + energie) byly minimalizovány. Dále je povoleno, aby vozidlo bylo jednou nebo vícekrát dobito na libovolné dobíjecí stanici. Model se skládá z následujících částí, viz níže.



Obrázek 11: Definice EVRP problému [13]

7.3.2. Vstupní parametry modelu

- $V = N \cup F$
- d_{ij} : cestovní vzdálenost na hraně (i, j) , $\forall i, j \in V$
- t_{ij} : doba jízdy na hraně (i, j) , $\forall i, j \in V$
- v_{ij} : cestovní rychlost na hraně (i, j) , $\forall i, j \in V$
- D_i : poptávka zákazníků i , $\forall i \in G$
- h_i : doba manipulace ve vrcholu i , $\forall i \in V$
- C_{it} : hodinový plat řidiče
- C_e : sazba za nabití jednoho joulu
- b_{ij} : spotřeba energie na hraně (i, j)
- C_m : kapacita baterie vozidla m

- Q_m : kapacita vozidla m
- r : konstanta rychlosti nabíjení baterie
- H : konstanta denního limitu pracovních hodin
- Z_{tt} – náklady na dobu jízdy
- Z_e – náklady na nabíjení baterie, jako funkce spotřeby energie
- Z_r – náklady na dobu čekání na nabití baterie
- N_0 – množina vrcholů zákazníků, které je nutné navštívit
- O – depo
- O_1 – nabíjecí stanice v depu
- $N = N_0 \cup \{O\}$
- F – množina dostupných nabíjecích stanic včetně O_1
- $A = \{(i, j)\}, \forall i, j \in V$
- $M = \{1, 2, \dots, M\}$ – vozový park o velikosti M

7.3.3. Model

- x_{ijm} : binární proměnná reprezentující pohyb vozidel m po hraně (i, j) , $\forall i, j \in V, \forall m \in M$, kde vozidlo m použije hranu i, j pak $x_{ijm} = 1$
- y_{ijm} : zbývající kapacita baterie vozidla m při příjezdu do vrcholu j z vrcholu i , $\forall i, j \in V, \forall m \in M$
- l_{ij} : zatížení vozidla na hraně (i, j) , $\forall i, j \in V$
- τ_{ij} : čas odjezdu do vrcholu j z vrcholu i , $\forall i, j \in V$. Čas odjezdu ve vrcholu O je $\tau_0 = 0$.

Protože model zohledňuje vliv nákladu na spotřebu energie a zatížení oblouků závisí na pořadí návštěv, musí model sledovat pořadí návštěv každého jednotlivého vozidla. Poté je zaveden třetí index s identifikátorem vozidla. Model EVRP má pak následující podobu:

$$\text{Min}Z = \sum_{i \in F, j \in G} \sum_{m \in M} Z_e x_{ijm} + \sum_{(i, j) \in A} \sum_{m \in M} Z_{tt} x_{ijm} + \sum_{i \in G, j \in F} \sum_{m \in M} Z_r x_{ijm} \quad (1)$$

Za předpokladu:

$$\sum_{j \in N} x_{0jm} = 1, \forall m \in M \quad (2)$$

$$\sum_{j \in V} \sum_{m \in M} x_{ijm} = 1, \forall i \in N_0 \quad (3)$$

$$\sum_{i \in V} x_{ijm} = \sum_{j \in V} x_{jim}, \forall j \in G, \forall m \in M \quad (4)$$

$$\sum_{j \in V} l_{ji} - \sum_{j \in V} l_{ij} = D_i u_i, \forall i \in V \quad (5)$$

$$\frac{1}{2}(u_j - 1)D_j u_j x_{ijm} \leq l_{ij} \leq Q_m x_{ijm} - \frac{1}{2}(u_j + 1)D_j u_j x_{ijm}, \forall i \in V, \forall j \in V, \forall m \in M \quad (6)$$

$$0 \leq l_{ij} \leq Q_m - \frac{1}{2}(u_i - 1)D_i u_i, \forall i, j \in V, \forall m \in M \quad (7)$$

$$H(x_{ijm} - 1) \leq \tau_{ki} + t_{ij} + h_j - \tau_{ij} \leq H(1 - x_{ijm}), \forall k, i \in V, \forall j \in N, \forall m \in M \quad (8)$$

$$H(x_{ijm} - 1) \leq \tau_{ki} + t_{ij} + \frac{(C_m - y_{ijm})}{r} - \tau_{ij} \leq H(1 - x_{ijm}), \forall k, i \in V, \forall j \in F, \forall m \in M \quad (9)$$

$$\sum_{(i,j) \in A} t_{ij} x_{ijm} + \sum_{i \in V, j \in N} h_j x_{ijm} + \sum_{i \in V, j \in F} \frac{C_m - y_{ijm}}{r} x_{ijm} \leq H, \forall m \in M \quad (10)$$

$$C_m(x_{ijm} - 1) \leq y_{ijm} - (C_m - b_{ij}) \leq C_m(1 - x_{ijm}), \forall i \in F \cup \{O\}, \forall j \in N, \forall m \in M \quad (11)$$

$$C_m(x_{ijm} - 1) \leq y_{ijm} - (y_{kim} - b_{ij}) \leq C_m(1 - x_{ijm}), \forall i \in N_0, \forall k, j \in V, \forall m \in M \quad (12)$$

$$0 \leq y_{ijm} \leq C_m, \forall i, j \in V, \forall m \in M \quad (13)$$

$$o = 0 \quad (14)$$

$$d_{ij} = v_{ij} t_{ij}, \forall i, j \in V \quad (15)$$

$$x_{ijm} \in \{0,1\}, \forall i, j \in V, \forall m \in M \quad (16)$$

Celkové náklady Z ve funkci (1) se skládají ze tří částí: náklady na nabíjení baterie Z_e , cestovní náklady Z_t přes všechny hrany a náklady za čekání při nabíjení baterie Z_r . Náklady na nabíjení baterie jsou rovny nákladům na spotřebovanou energii na hraně, označené jako b_{ij} , $\forall i, j \in V$. Potom náklady na nabíjení baterie lze vyjádřit jako $\sum_{(i,j) \in A} \sum_{m \in M} C_e b_{ij} x_{ijm}$. Cestovní náklady Z_t jsou funkcí času na cestě t_{ij} . Náklady na čekání při nabíjení baterie jsou funkcí dobíjecího času na trase. Pokud se dojde na konečnou stanici v depu na konci denního provozu a tam se baterie dobije na plný výkon, tak se náklady na čekání neplatí. Z tohoto důvodu je cílová funkce přepsána následujícím způsobem:

$$\text{Min } Z = \sum_{(i,j) \in A} \sum_{m \in M} C_e b_{ij} x_{ijm} + \sum_{(i,j) \in A} \sum_{m \in M} C_{tt} t_{ij} x_{ijm} + \sum_{i \in V, j \in F} \sum_{m \in M} C_{tt} \frac{C_m - y_{ijm}}{r} x_{ijm} \quad (1a)$$

Rovnice (2) omezuje počet vozidel, která mohou vyjet z depa na maximálně M . Rovnice (3) zajišťuje, že každý zákazník je navštíven právě jednou. Rovnice (4) je omezení na zachování toku v každém vrcholu, buď zákazníka nebo nabíjecí stanice. Rovnice (5) zachovává rovnováhu poptávky a nabídky, tedy rozdíl mezi odchozím a příchozím zatížením v bodě i se rovná poptávce v bodě i . Rovnice (6) a (7) jsou omezení na kapacitu vozidel. Konkrétně rovnice (6) zajišťuje, že pokud je poptávka v bodě j kladná (tj. objednávka na přepravu), pak je zatížení vozidla na oblouku (i,j) omezeno na nulu a kapacitu vozidla sniženu o poptávku v j tak, aby vozidlo mohlo poptávku v j pojmout. Za druhé pokud je poptávka v bodě j záporná (tj. objednávka na dodání), pak je zatížení vozidla na oblouku (i,j) omezeno poptávkou v j a kapacitou vozidla K_m . Rovnice (7) zaručuje, že zatížení vozidla na každém oblouku musí být nezáporné a nesmí překročit kapacitu vozidla. V případě, že je poptávka v bodě i záporná (tj.

objednávka na dodání), nesmí zbývající zatížení vozidla na oblouku (i,j) překročit kapacitu vozidla sníženou o množství vyložené v i . Rovnice (8) zajišťuje, že čas odjezdu od zákazníka j je roven času příjezdu k j plus doby obsluhy na j . Rovnice (9) uvádí, že čas odjezdu z nabíjecí stanice j je roven času příjezdu na j plus době nabíjení na j . Rovnice (10) uplatňuje omezení celkové pracovní doby (doba cesty + doba obsluhy + doba nabíjení), která je stanovena dle stanov o pracovní době. Rovnice (11) a (12) se týkají spotřeby baterie, kde zbývající baterie po navštívení bodu j po návštěvě bodu i by měla být snížena o b_{ij} . V rovnici (11), pokud je vrchol i dobíjecí stanice, kapacita baterie se vždy vrátí na plnou kapacitu při opuštění i . Rovnice (13) zajišťuje, že zbytková kapacita baterie y_{ijm} musí být nezáporná a menší než kapacita baterie C_m . Rovnice (14) určuje, že časový údaj pro odjezd z depa je 0. Rovnice (15) jednoduše vyjadřuje vztah mezi vzdáleností a časem cesty, rychlostí. Nakonec, rovnice (16) definuje binární rozhodovací proměnnou x_{ijm} . [13]

7.4. Rozdíly mezi VRP a E-VRP problematikou

Vehicle Routing Problem (VRP) je definována jako kategorie problémů a Electric Vehicle Routing Problem (E-VRP) je varianta řešení VRP problému. Zatímco VRP se snaží najít nejlepší možný způsob, jak rozvézt zboží z jednoho místa na druhé pomocí flotily vozidel, E-VRP se soustředí na nalezení nejlepšího plánu pro doručení zboží pomocí elektrických vozidel.

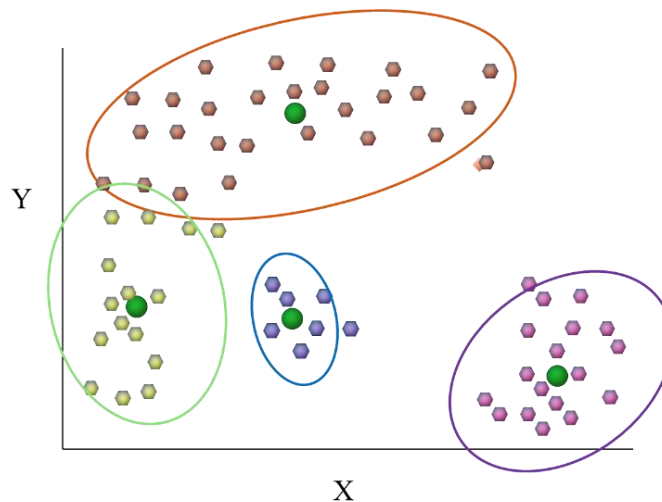
Existuje několik hlavních rozdílů mezi VRP a E-VRP:

- *Spotřeba energie* – E-VRP bere v úvahu spotřebu energie vozidel a snaží se minimalizovat celkovou spotřebu energie v průběhu celého procesu doručování.
- *Doba nabíjení* – E-VRP musí brát v úvahu také dobu nabíjení elektrických vozidel a snaží se minimalizovat celkovou dobu nabíjení. VRP toto kritérium nezahrnuje.
- *Vzdálenost* – V E-VRP je vzdálenost, kterou mohou elektrická vozidla urazit s jediným nabitím, omezena. Proto se snaží minimalizovat celkovou vzdálenost, kterou vozidla musí urazit.
- *Ekvivalence* – E-VRP bere v úvahu i ekvivalenci baterií v jednotlivých vozidlech, aby zajistila spravedlivé rozdělení zátěže mezi všechna vozidla. To VRP obecně nezahrnuje.

Celkově lze říci, že E-VRP je obecně složitější problém než VRP a vyžaduje specifické algoritmy a modely optimalizace, aby se maximalizovala účinnost a minimalizovaly náklady na energii. [13]

7.5. Využití clusterové metody

Metody založené na shlukování začínají rozdělením množiny zákazníků na shluky: jeden shluk pro potenciální depo nebo pro jednu trasu vozidla. U E-VRP problému se řešení často zakládá na rozdělení zákaznického souboru do clusterů, které pak slouží jako potenciální trasy vozidel. Každý cluster se poté řeší samostatně. Clustery se vytvářejí podle různých kritérií, jako je vzdálenost od depa, počet zákazníků v clusteru, poptávka zákazníků nebo podobnost mezi zákazníky. K vytvoření clusterů se používají různé metody, včetně hierarchického nebo nehierarchického shlukování, metody úspor nebo kombinace obou přístupů.



Obrázek 12 Příklad zobrazení clusteringu dle dat [16]

Clusterové metody jsou často kombinovány s heuristikami nebo jinými optimalizačními technikami pro řešení E-VRP problému. Cílem E-VRP je minimalizovat celkovou ujetou vzdálenost nebo náklady elektrických vozidel při obsluze sady zákazníků s předem známými požadavky.

Jedním možným přístupem k řešení je seskupit zákazníky do skupin a přiřadit každou skupinu konkrétnímu vozidlu. Tento přístup pomáhá zjednodušit rozsah úlohy na menší části a tím zlepšit časovou náročnost výpočtu řešení. Několik studií se zabývá využitím clusteringu v E-VRP, některé z nich jsou diskutovány níže.

V práci s názvem "Clustering-based approach for the electric vehicle routing problem with time windows" od Diabata a Jabera autoři navrhli algoritmus založený na clusteringu, který rozdělil zákazníky do skupin a každou skupinu přiřadil konkrétnímu vozidlu. Algoritmus použil K-means clustering k rozdělení zákazníků podle jejich umístění a poté řešil problém pomocí modifikované verze Clarkova-Wrightova algoritmu". [12]

Další studie od Sefriouiho navrhla hybridní přístup, který kombinoval clusteringový algoritmus s genetickým algoritmem. Clusteringový algoritmus seskupoval zákazníky podle jejich geografické polohy a poptávky, zatímco genetický algoritmus byl použit k optimalizaci tras přidělených každému vozidlu. Studie ukázala, že hybridní přístup byl schopen produkovat kvalitní řešení v rozumném čase. [11]

V další studii s názvem "Heuristic approach for the electric vehicle routing problem with time windows using a clustering technique" od Laia autoři navrhli heuristický algoritmus, který použil clusteringovou techniku k rozdělení zákazníků do skupin podle jejich umístění a poptávky. Algoritmus byl založen na dvoustupňovém postupu, kde první stupeň optimalizoval trasy pro každou skupinu a druhý stupeň optimalizoval pořadí návštěvy skupin. [10]

Celkově se ukázalo, že clustering je účinnou technikou řešení E-VRP. Tím, že se zákazníci rozdělí do skupin a přiřadí se k určitým vozidlům. Algoritmy clusteringu pomáhají zjednodušit řešení složitého problému a tím zlepšit efektivitu řešení.

7.6. JSprit

JSprit je open-source Java-based toolkit pro řešení problémů s plánováním tras vozidel. Je navržen tak, aby poskytoval flexibilní a rozšiřitelnou platformu pro vývoj a implementaci široké škály algoritmů a technik souvisejících s VRP. JSprit nabízí různé funkce pro řešení VRP problémů, jako jsou například velké množství cílů, časová okna, kapacitní omezení a plánování tras.

JSprit je založen na metaheuristickém přístupu, který kombinuje například lokální prohledávání nebo perturbační techniky pro nalezení kvalitních řešení VRP problémů. Lokální prohledávání představuje v rámci JSpritu postupnou aplikaci jednotlivých změn řešení, jako je například zaměňování zákazníků nebo vložení zákazníka do jiné trasy. Po každé operaci je vyhodnocena kvalita nového řešení s tím původním. Co se týče perturbační techniky, ta v modelu představuje techniku pro provedení větších změn v řešení pro dosažení výsledku mimo lokální optimum. Cílem perturbační techniky je zvýšit počet možných řešení a nalézt řešení s nejlepší možnou kvalitou. Tento open-source toolkit nabízí mnoho algoritmů pro řešení různých typů VRP problémů, včetně Clark-Wrightova nebo genetických algoritmů.

Nástroj je navržen tak, aby byl modulární a přizpůsobitelný, což umožňuje uživatelům snadno integrovat vlastní algoritmy, účelové funkce a další omezení. JSprit je také vysoce škálovatelný a zvládá řešení velkých VRP problémů s tisíci zákazníky a mnoha vozidly.

Hlavní výhody JSprit jsou jeho flexibilita a škálovatelnost, které ho dělají vhodným pro širokou škálu VRP problémů. Navíc se jedná o open source, což znamená, že ho může volně používat a upravovat kdokoli. Kromě toho JSprit poskytuje komplexní uživatelskou příručku a rozsáhlou dokumentaci, která pomáhá uživatelům začít pracovat s tímto nástrojem. [14, 15]

8. Představení společnosti PPL CZ s. r. o.

8.1. O společnosti PPL CZ s.r.o.

PPL CZ s.r.o. je česká společnost založená v roce 1995, která poskytuje služby v oblasti expresního a kurýrního doručování balíků. Kromě toho nabízí vnitrostátní zasílání, poštovní a mezinárodní poštovní služby v rámci silniční motorové dopravy. V roce 2006 se PPL CZ s.r.o. stala členem DHL eCommerce Solution v rámci skupiny Deutsche Post DHL Group, která je globálním poskytovatelem logistických služeb. DPDDHL Group aktuálně zaměstnává přibližně 550 000 zaměstnanců ve více než 220 zemích po celém světě. Společnost DPDDHL Group je jedním z největších soukromých zaměstnavatelů na světě.

V roce 2020 došlo k prodeji PPL CZ s.r.o., která se zabývala paletovou přepravou společností DHL Freight. Společnost DHL Freight je součástí skupiny Deutsche Post DHL Group a zaměřuje se na přepravu kusových a těžkých zásilek.



Obrázek 13 PPL CZ [17]

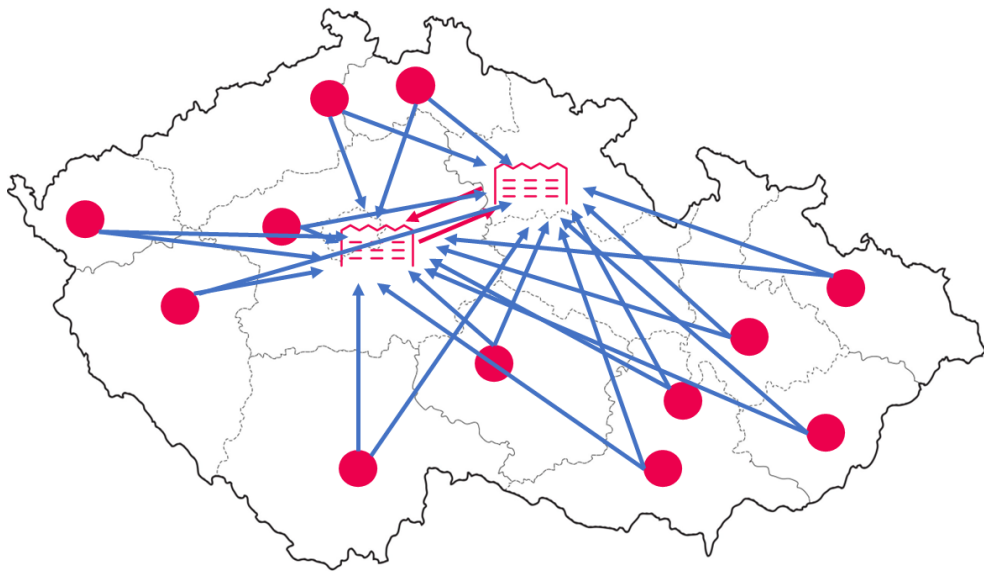
PPL CZ poskytuje tzv. D+1 službu, což znamená, že balík by měl být doručen do jednoho dne od okamžiku jeho vyzvednutí nebo přijmutí do rukou PPL. Pro přepravu a rozvoz k zákazníkům se využívají dodávková vozidla. PPL CZ s.r.o. má poměrně silnou pozici na českém trhu a zaznamenává pozitivní poptávkový růst po svých službách, zejména v souvislosti s rostoucím e-commerce sektorem. V posledních letech zaznamenává také růst přeshraniční přepravy balíků, protože e-commerce je využíván v rámci neomezeného pohybu zboží

a služeb v rámci EU. Po vzoru mateřské společnosti se PPL CZ s.r.o. zavázala k emisní neutralitě do roku 2050. Dnešním nejvíce využívaným typem jsou výhradně lehké nákladní automobily se spalovacím agregátem. V roce 2018 dosáhla PPL CZ s.r.o. tržeb téměř 3,3 miliardy Kč, s růstem oproti předchozímu roku o 11,42 %. Zisk před zdaněním ve výši 95 mil. Kč však klesl oproti předcházejícímu roku ze 129 mil. Kč. V roce 2019 společnost zaznamenala tržby ve výši 3,5 miliardy Kč, což představovalo nárůst o 7,47 %, a zisk před zdaněním ve výši 143 mil. Kč, což znamenalo nárůst o 50 %. V roce 2020 a 2021 nastal rozvoj e-commerce a rozvoj trhu s expresními a kurýrními službami z důvodu pandemie. [17]

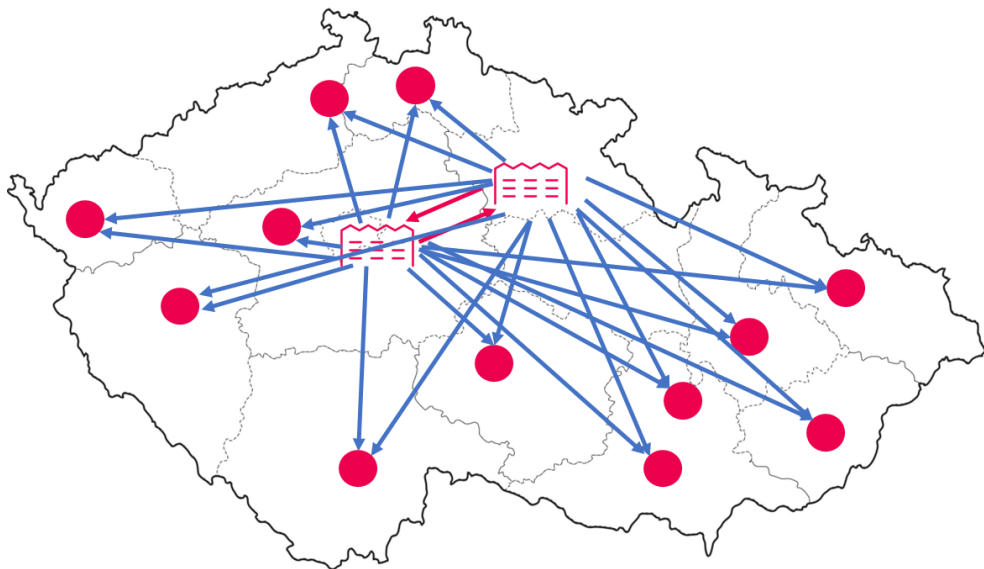
8.2. Přepavní síť společnosti

PPL CZ s.r.o. má v rámci českého trhu 25 balíkových dep, dvě centrální překladiště v Praze a Hradci Králové a rozsáhlou síť výdejních a podacích míst, které se nazývají PPL ParcelShopy a ParcelBoxy. Aktuální počet výdejních míst činí odhadem 4 000 po celé České republice. [17]

Přepavní síť PPL CZ s.r.o. se skládá ze dvou centrálních překladišť, které můžeme definovat jako hlavní huby celé sítě. Z těchto hubů jsou zásilky konsolidovány a přerozdělovány do dalších regionů, a to jak v rámci České republiky, tak i pro zásilky mimo Českou republiku. Pro další třídění zásilek jsou v rámci PPL balíková depa, která třídí zásilky do teoretických podregionů, které jsou rozděleny podle poštovního směrovacího čísla dle koncového zákazníka nebo výdejního místa a boxu. Na Obrázcích 14 a 15 jsou vidět přepavní síť společnosti PPL CZ s.r.o., a to konkrétně toky z jednotlivých překladišť na balíková depa a z balíkových dep na centrální překladiště. Dále jsou v sítích vidět toky mezi oběma překladišti. [17]



Obrázek 14 Přepravní síť PPL CZ – toky směrem na centrální překladiště [vlastní zpracování]



Obrázek 15 Přepravní síť PPL CZ – toky směrem na balíková depa [vlastní zpracování]

9. Proces fungování společnosti

Popis procesu můžeme chápat jako množinu jednotlivých aktivit, které přinášejí společností přidanou hodnotu. Proces se skládá z následujících základních atributů, a to vstup, výstup. V dnešní době nestačí pouze rozhodování na základě intuice a zkušenostech, ale je nutné problém správně definovat.

Společnost PPL má definované jednotlivé procesy od odesílatele až k příjemci. Všechny procesy jsou i datově podloženy, kdy každý bod procesu má předělen identifikační číslo tzv. status. Status v procesu je jednoduše řečeno informace, která je definována reálnou aktivitou při přepravě, například to může být status s názvem „Převzetí od zákazníka“. Pokud se podíváme na jednotlivé části procesu přepravy společnosti PPL, tak prvním procesem a vstupem do celého systému je svoz zásilek. Celý proces začíná aktivitou, kdy zákazník poskytne základní data o zásilce v rámci systému a následně je zásilka vyzvednuta a předána řidiči. Po dokončení svozu řidič převezve zásilky na depo regionu, kde probíhá kontrola váhy, třídění a konsolidace jednotlivých zásilek. V případě, že se nejedná o zásilku z oblasti regionu depa, je zásilka vytříděna pro přepravu na překladiště. Následně jsou zásilky přepraveny na centrální překladiště a dále jsou roztříděny do dalších regionů a přepraveny do cílových dep.

Po přepravě zásilek z překladišť na cílová depa probíhá příjem na depo a opětovné třídění zásilek pro jednotlivé trasy řidičů. Trasy pro cílové doručování jsou tvořeny dle poštovního směrovacího čísla. Po vytřídění zásilek dle cílových adres jsou zásilky naloženy řidičem a je zahájen proces doručování. Doručení může probíhat ve 3 variantách, a to doručení do ParcelBoxu, doručení na ParcelShop a doručení do ruky. V případě, že zákazník není zastižen nebo není zásilka vyzvednuta z ParcelShopu a ParcelBoxu, tak je zahájen proces s názvem „Not at home“. Zásilka může být nedoručena z mnoha důvodů jako je například jiný termín doručení, jiná adresa nebo nezastižení příjemce. Pokud řidič nedoručí zásilku příjemci, tak potom je zásilka přepravena na depo, kde je uložena na speciální místo. Druhý den proběhne inventura a zásilka je vyjmuta z definovaného místa, naložena do vozidla a následně zavezena opětovně zákazníkovi. Pokud se takto i nadále proces nedoručení zásilky opakuje, tak potom je zásilka uložena v depu po definovanou dobu a odeslána zpět odesílateli, kde se opakuje proces směrem na překladiště, dále na cílové depo, a nakonec je zásilka doručena odesílateli. Všechny zásilky, které projdou jednotlivými depy nebo překladišti, jsou označeny čárovým kódem PPL pro další skenování při pohybu zásilky procesem PPL. Řidiči, kteří pracují pro společnost PPL, nejsou přímými zaměstnanci PPL, protože v tomto případě vystupuje PPL

jako zprostředkovatel přepravy a najímá služby dopravců k vykonání samotné přepravy. Z odpovědnost za zásilku přebírá řidič vozidla v okamžiku převzetí zboží. [23]

10. Představení vstupních dat

Pro analýzu dat a pro řešení navrhovaných metod byla poskytnuta data od společnosti PPL CZ. Data můžeme rozdělit do dvou kategorií, a to denní hodnoty doručování zásilek a souhrnná data s informací ohledně celého depa Karlovy Vary a vozidlového parku. Data pro denní hodnoty byla poskytnuta pro měsíc červenec roku 2022. Pro další analýzy a po detailním přezkoumání byla použita data pouze za týden od 11. 7. 2022 do 15. 7. 2022. Datový podklad denních hodnot obsahuje pro další analýzy tato důležitá data:

- ID řidiče – jedná se o identifikátor řidiče a zároveň o klíč pro propojení dat ohledně vozidel.
- Číslo zásilky – tento údaj udává jedinečné označení zásilky.
- Datum – jde o datum a čas pohybu zásilky.
- ID_cesty – identifikátor cesty definuje směr, kterým řidič rozváží zásilky v rámci regionu. Směr je definován jako okruh pro jednotlivá vozidla.
- GPS údaje – posledním důležitým údajem jsou samotné GPS lokace zákazníků pro rozvoz zásilek.

Dalším datovým podkladem pro výpočty v rámci diplomové práce byla data související s vozidlovým parkem, číselník pro statusy pohybu zásilek a souhrnná data za depo Karlovy Vary. V datech týkajících se vozidlového parku bylo důležité analyzovat heterogenní flotilu a následně využít tato data do připraveného modelu. Zbylé podklady souhrnných dat z depa Karlovy Vary a ohledně klíčového seznamu statusů byla použita pro vstupní analýzu. Na další stránce je možné vidět v Tabulce 1 ukázkou údajů o vozidlovém parku a v Tabulce 2 datový vstup denních hodnot pro rozvoz zásilek. [23]

Tabulka 1 Vozidlový park depa Karlovy Vary [vlastní zpracování]

ID vozidla	Depo dopravce	Nosnost (kg)	Celková hmotnost	Objem (m3)	Palivo
9552	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9553	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9554	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9555	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9556	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9557	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	12	Diesel
9558	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9559	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9560	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9561	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9562	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9563	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9564	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9565	13 - Depo Karlovy Vary	1000	3500	15	Diesel
9566	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9567	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9568	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9569	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9570	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9571	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9572	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9573	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9574	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9575	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9576	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9577	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9578	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9579	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9580	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9581	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	18	Diesel
9582	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	13	Diesel
9583	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	0	Diesel
9584	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	0	Elektrický pohon
9585	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9586	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9587	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9588	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9589	13 - Depo Karlovy Vary	1000	3500	12	Diesel
9590	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9591	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9592	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9593	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	12	Diesel
9594	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9595	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	15	Diesel
9596	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	12	Diesel
9597	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	0	Elektrický pohon
9598	13 - Depo Karlovy Vary	1500	3500	0	Elektrický pohon

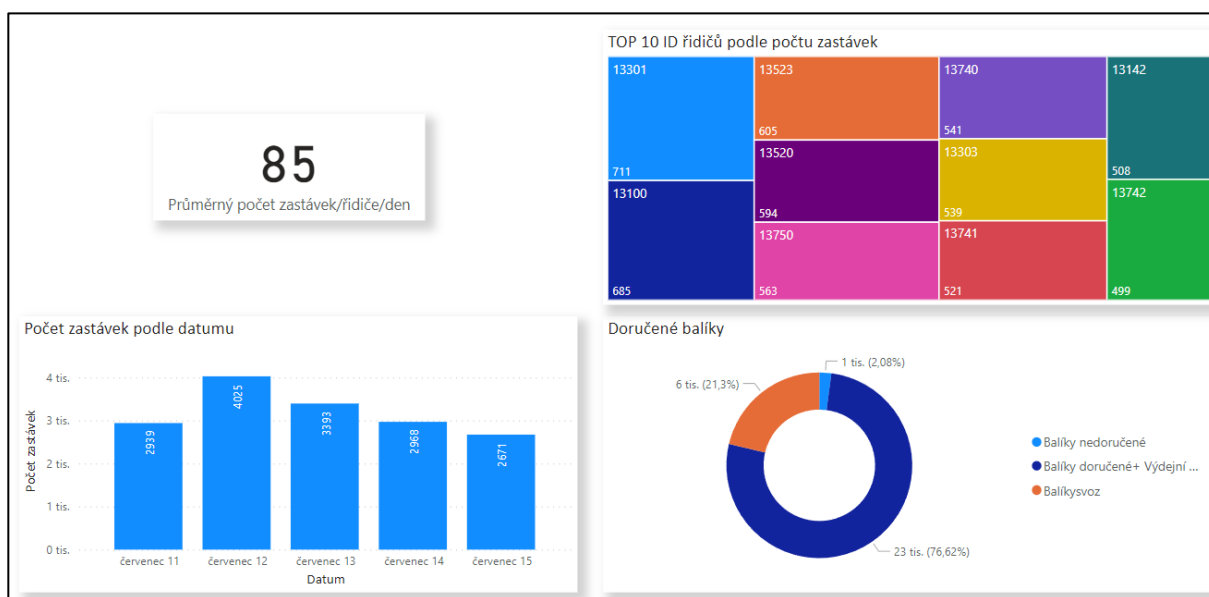
Tabulka 2 Denní hodnoty pohybů zásilek společností [vlastní zpracování]

ID řidič	Depo	Číslo zásilky	Datum	ID_cesty	GPSLongitude	GPSLatitude
13754	13 - Depo Karlovy Vary	60115888385	11.07.2022	7742	12.8510809	50.233988
13754	13 - Depo Karlovy Vary	60115888385	11.07.2022	7742	12.8510809	50.233988
13754	13 - Depo Karlovy Vary	60115888387	11.07.2022	7742	12.8510809	50.233988
13754	13 - Depo Karlovy Vary	60115888389	11.07.2022	7742	12.8510809	50.233988
13754	13 - Depo Karlovy Vary	60115888391	11.07.2022	7742	12.8510809	50.233988
13754	13 - Depo Karlovy Vary	60115888393	11.07.2022	7742	12.8510809	50.233988
13754	13 - Depo Karlovy Vary	60115888395	11.07.2022	7742	12.8510809	50.233988
13754	13 - Depo Karlovy Vary	60115888397	11.07.2022	7742	12.8510809	50.233988
13754	13 - Depo Karlovy Vary	60115888399	11.07.2022	7742	12.8510809	50.233988
13754	13 - Depo Karlovy Vary	60115888401	11.07.2022	7742	12.8510809	50.233988
13754	13 - Depo Karlovy Vary	60115888403	11.07.2022	7742	12.8510809	50.233988
13754	13 - Depo Karlovy Vary	60115888405	11.07.2022	7742	12.8510809	50.233988
13754	13 - Depo Karlovy Vary	60115888407	11.07.2022	7742	12.8510809	50.233988
13754	13 - Depo Karlovy Vary	60115888409	11.07.2022	7742	12.8510809	50.233988
13754	13 - Depo Karlovy Vary	60115888411	11.07.2022	7742	12.8510809	50.233988
13754	13 - Depo Karlovy Vary	60115888413	11.07.2022	7742	12.8510809	50.233988
13754	13 - Depo Karlovy Vary	60115888415	11.07.2022	7742	12.8510809	50.233988
13754	13 - Depo Karlovy Vary	60115888417	11.07.2022	7742	12.8510809	50.233988
13754	13 - Depo Karlovy Vary	60115888419	11.07.2022	7742	12.8510809	50.233988
13754	13 - Depo Karlovy Vary	60115888421	11.07.2022	7742	12.8510809	50.233988
13754	13 - Depo Karlovy Vary	60115888423	11.07.2022	7742	12.8510809	50.233988
13754	13 - Depo Karlovy Vary	60115888425	11.07.2022	7742	12.8510809	50.233988
13754	13 - Depo Karlovy Vary	60115888427	11.07.2022	7742	12.8510809	50.233988
13754	13 - Depo Karlovy Vary	60115888429	11.07.2022	7742	12.8510809	50.233988
13754	13 - Depo Karlovy Vary	60115888431	11.07.2022	7742	12.8510809	50.233988
13754	13 - Depo Karlovy Vary	60115888433	11.07.2022	7742	12.8510809	50.233988
13754	13 - Depo Karlovy Vary	60115888435	11.07.2022	7742	12.8510809	50.233988
13754	13 - Depo Karlovy Vary	60115888437	11.07.2022	7742	12.8510809	50.233988
13754	13 - Depo Karlovy Vary	60115888439	11.07.2022	7742	12.8510809	50.233988
13754	13 - Depo Karlovy Vary	60115888441	11.07.2022	7742	12.8510809	50.233988
13101	13 - Depo Karlovy Vary	60115888443	11.07.2022	7766	12.2398185	50.1209249
13101	13 - Depo Karlovy Vary	60115888445	11.07.2022	7766	12.2399657	50.1206179
13747	13 - Depo Karlovy Vary	60115888447	11.07.2022	7732	12.4466416	50.0360857
13754	13 - Depo Karlovy Vary	60115888449	11.07.2022	7742	12.8510809	50.233988

11. Vybrané depo Karlovy Vary

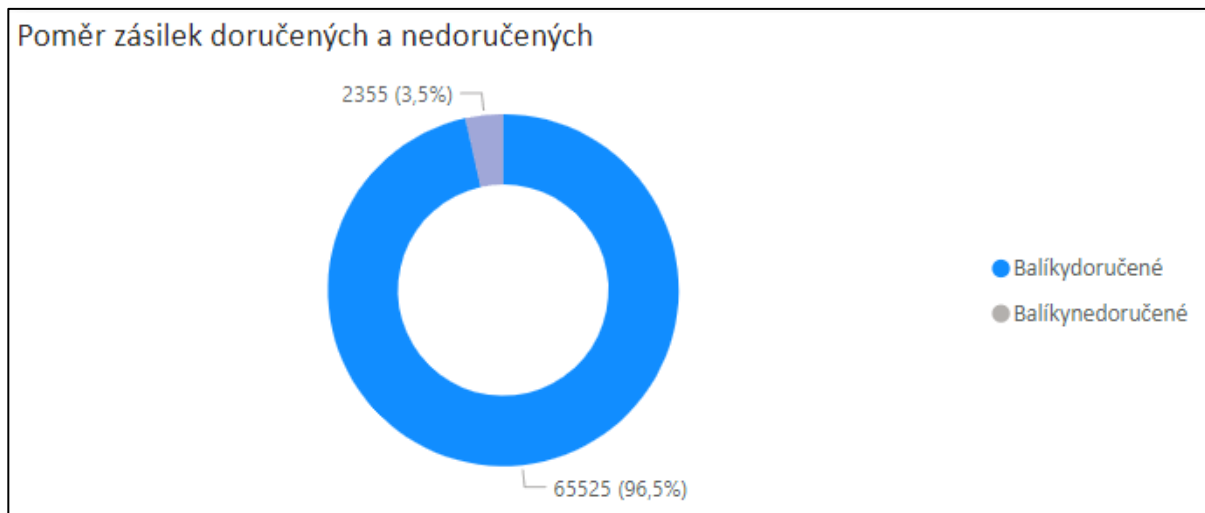
Depo PPL v Karlových Varech se nachází v centrální části města. V rámci vybraného depa byly analyzovány základní informace o fungování depa. Pobočka Karlovy Vary má k dispozici celkem 47 vozidel dodávkového typu a disponuje celkem 55 řidiči. Celkový počet zastávek za období měsíce července roku 2022 byl přibližně 57 500. Průměrný počet zastávek je pak přibližně 85 na den na řidiče.

Pro vstupní analýzu byl použit nástroj s názvem Power BI od společnost Microsoft. Tento nástroj slouží k analýze dat, vizualizací, tvorbě reportů a dashboardů. Power BI umožňuje propojovat a transformovat data z různých zdrojů, jako jsou například relační databáze, soubory Microsoft Excel, cloudové úložiště nebo webové služby. Ukázka dashboardu z nástroje Power BI je vidět níže na Obrázku 16.



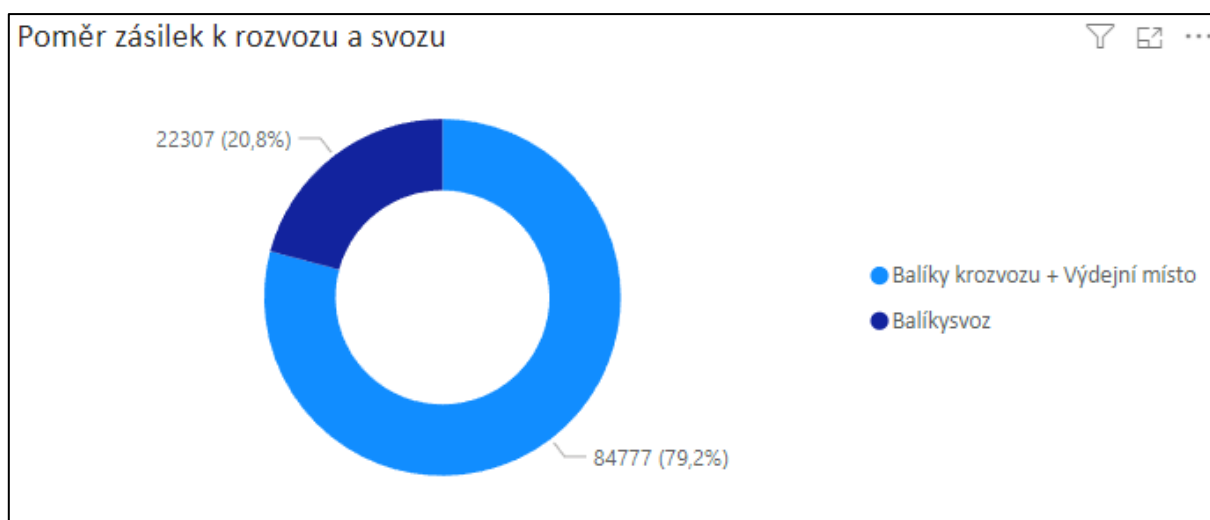
Obrázek 16 Ukázka dashboardu z nástroje Power BI [vlastní zpracování]

Další analyzovanou hodnotou je poměr nedoručených a doručených zásilek. V tomto případě bylo doručeno 96,5 % zásilek za měsíc červenec a pouze u 3,5 % procenta zásilek se nepodařilo zásilky doručit. Poměr je vidět na Obrázku 17.



Obrázek 17 Poměr doručených a nedoručených zásilek [vlastní zpracování]

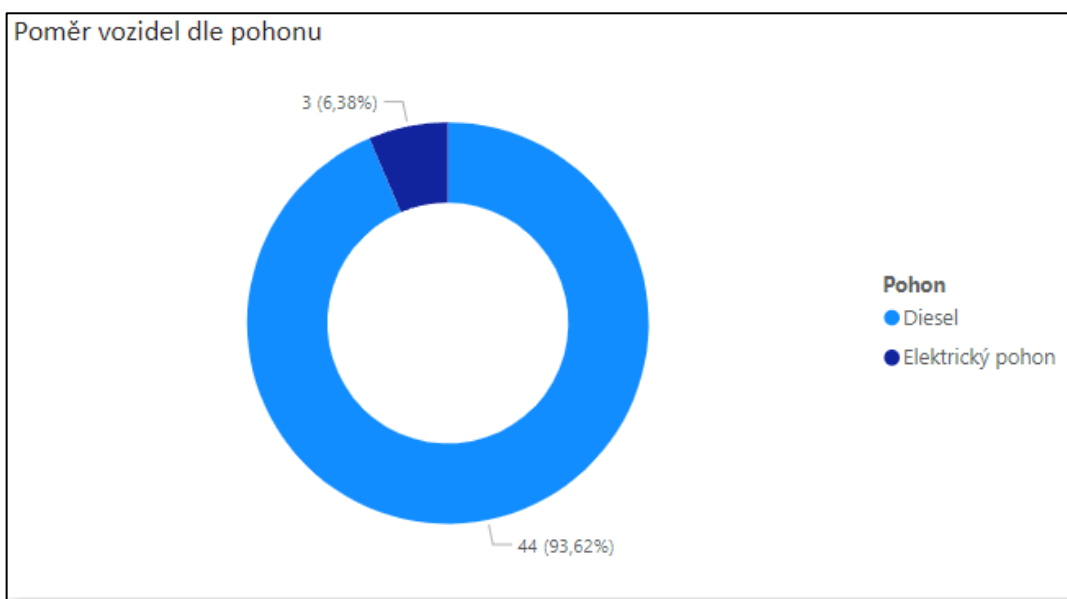
Mezi další sledovanou hodnotu, která byla zjištěna, je poměr zásilek k rozvozu a svozu. Zde je možné vidět, že svoz tvoří přibližně necelých 21 % a zbylých 79,2 % tvoří rozvoz ke koncovým zákazníkům, do ParcelShopů nebo do ParcelBoxů. Tento poměr je možné vidět na Obrázku 18.



Obrázek 18 Poměr zásilek k rozvozu a svozu [vlastní zpracování]

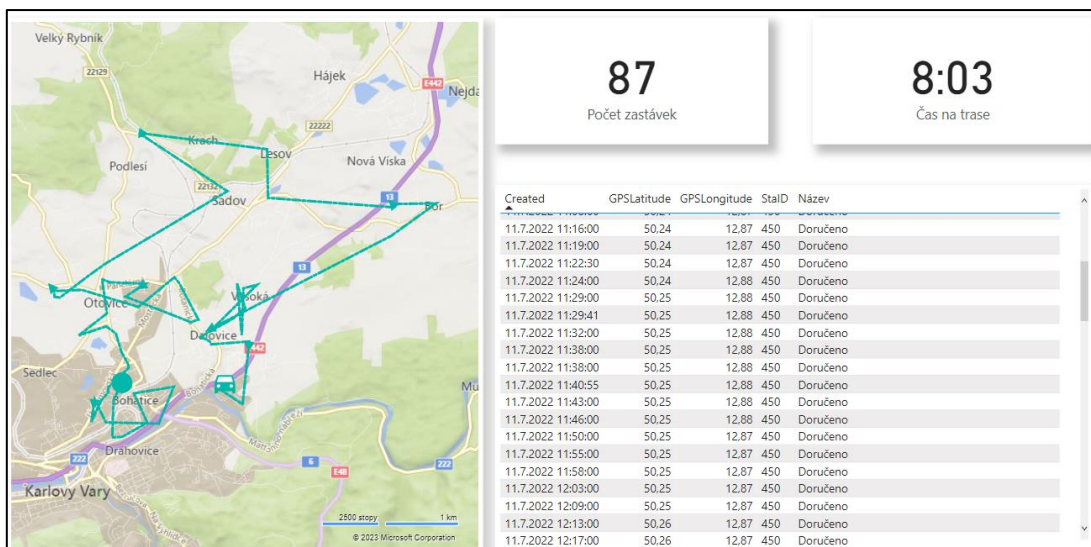
11.1. Vozový park depa

Společnost PPL CZ využívá pro rozvoz a svoz zásilek dodávková vozidla. Tato vozidla dělíme dle pohonu na dieselová a elektrická. Aktuální počet vozidel na depu Karlovy Vary je dle poskytnutých dat 47. Z těchto 47 vozidel jsou 3 vozidla na elektrický pohon. Elektrická vozidla mají dojezd dle získaných specifikací do 150 km. V případě nosnosti mají elektrická vozidla totožnou nosnost jako dieselová vozidla, a to 1,5 tuny.



Obrázek 19 Poměr vozidel dle typu pohonu [vlastní zpracování]

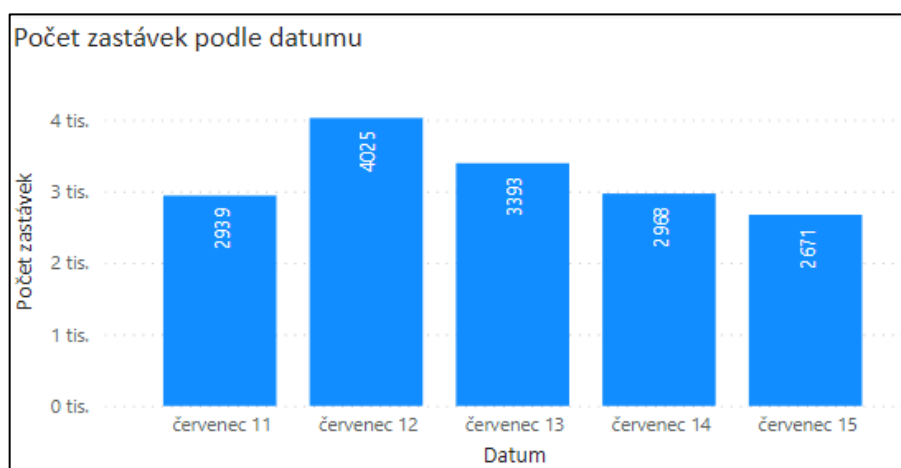
Přepravní společnosti jsou dle zpřísnujících se podmínek pro redukci emisí nuceny nahrazovat dieselový vozový park za elektrický vozový park. Velkou nevýhodou je dojezd vozidel, kdy je kladen důraz na nosnost vozidel, aby vozidla měla stejnou tonáž jako je tu u dieselových vozidel. Malý dojezd vozidel ovlivňuje počet zastávek doručení, a tak je vhodné těmto vozidlům určit trasy blíže městům a okolím měst. Na základě historické analýzy dat je možné vidět na Obrázku 20 trasu vozidla na elektrický pohon, která primárně vede centrem města. V rámci analýzy historického stavu je možné říci, že pro větší obslužnost regionu pouze vozidly na elektrický pohon, je nutné se do budoucna zabývat tématem většího dojezdu elektrických vozidel.



Obrázek 20 Trasa vozidla na elektrický pohon [vlastní zpracování]

11.2. Analýza současného stavu rozvozových tras

Pro analýzu dat současného stavu byla použita data reprezentující týden od 11.7. 2022 do 15.7. 2022, jak už bylo řečeno v předchozích částech této diplomové práce. Cílem analýzy současného stavu bylo získat povědomí, jak funguje proces plánování rozvozových tras, jaký byl celkový počet ujetých kilometrů a kolik vozidel bylo použito pro rozvoz zásilek. Společnost PPL CZ v současné době disponuje systémem pro plánování tras, ale ne vždy jsou takto naplánované trasy použity v realitě. Někteří řidiči rozváží zásilky dle vlastních zkušeností.



Obrázek 21 Počet zastávek po jednotlivých dnech [vlastní zpracování]

Jednou z analýz bylo potřeba zjistit, kolik zastávek jsou schopni řidiči během týdne obsloužit, a bylo zjištěno, že maximální počet zastávek za sledované období 11. 7. 2022 až 15. 7. 2022 byl 4025. Výsledný sloupcový graf počtu zastávek je možné vidět na Obrázku 21.

Dále byl analyzován historický stav a byla zjištěna vytíženost vozidel při rozvážení zásilek. Bylo zjištěno, že maximální vytížení z hlediska váhy, bylo přibližně 97 % a průměrné vytížení bylo přibližně 49%. Zjištěná průměrná vytíženost je vidět na Obrázku 22.

Datum	ID vozidla	Palivo	Pin řidiče	Průměr z: Vytížení/vozidlo
11.7.2022	10082	Diesel	13100	88,50 %
12.7.2022	10082	Diesel	13100	90,60 %
13.7.2022	10082	Diesel	13100	85,20 %
14.7.2022	10082	Diesel	13100	72,90 %
15.7.2022	10082	Diesel	13100	52,80 %
11.7.2022	9791	Diesel	13101	51,00 %
12.7.2022	9791	Diesel	13101	51,60 %
13.7.2022	9791	Diesel	13101	44,40 %
14.7.2022	9791	Diesel	13101	39,90 %
11.7.2022	10082	Diesel	13103	10,20 %
15.7.2022	10082	Diesel	13103	36,90 %
15.7.2022	9523	Diesel	13139	34,50 %
11.7.2022	11085	Diesel	13140	65,10 %
12.7.2022	11085	Diesel	13140	56,10 %
13.7.2022	11085	Diesel	13140	58,50 %
14.7.2022	11085	Diesel	13140	50,70 %
15.7.2022	11085	Diesel	13140	13,80 %
11.7.2022	11473	Diesel	13141	51,30 %
12.7.2022	11473	Diesel	13141	55,80 %
13.7.2022	11473	Diesel	13141	73,80 %
14.7.2022	11473	Diesel	13141	58,50 %
15.7.2022	11473	Diesel	13141	47,40 %
11.7.2022	11084	Diesel	13142	49,20 %
12.7.2022	11084	Diesel	13142	54,30 %
13.7.2022	11084	Diesel	13142	60,60 %
14.7.2022	11084	Diesel	13142	46,80 %
15.7.2022	11084	Diesel	13142	50,10 %
11.7.2022	10516	Diesel	13143	60,90 %
Celkem				48,71 %

Obrázek 22 Vytíženost vozidel [vlastní zpracování]

V rámci poslední z analýz historického stavu bylo nutné zjistit počet ujetých kilometrů pro porovnání s nově plánovanými variantami. Z důvodu zjištění průběhu doručování ve sledovaném období byl vytvořen kód v programovacím prostředí RStudio pro sestavení trasy podle datumu, času a identifikátoru řidiče. Výsledkem této analýzy byl celkový počet ujetých kilometrů, kdy bylo zjištěno, že za sledované období bylo ujetu při rozvozu zásilek 27 650 kilometrů. Ukázka výstupu je vidět na Obrázku 23. Celkový výstup je pak možné vidět v Příloze číslo 1 s názvem „Analýza vzdáleností historického stavu“.

GPSLongitude	GPSLatitude	Datum_cas	GPSLongitude.1	GPSLatitude.1	ID.řidiče	vehicle.ID	group_number	zastavka	km
12,877015	50,2438317	11.7.22 9:46	12.2110596	50,2124576	13100	10082	1	1	63,9385
12,877015	50,2438317	11.7.22 9:51	12.2044477	50,2087123	13100	10082	1	2	0,7251
12,877015	50,2438317	11.7.22 9:54	12.2056804	50,2080904	13100	10082	1	3	0,1017
12,877015	50,2438317	11.7.22 9:56	12.208072	50,2059406	13100	10082	1	4	0,2907
12,877015	50,2438317	11.7.22 9:57	12.2078264	50,2059894	13100	10082	1	5	0,0128
12,877015	50,2438317	11.7.22 9:58	12.2033956	50,2119286	13100	10082	1	6	0,8082
12,877015	50,2438317	11.7.22 10:01	12.2018719	50,2125929	13100	10082	1	7	0,2438
12,877015	50,2438317	11.7.22 10:06	12.2006345	50,2143465	13100	10082	1	8	0,5759
12,877015	50,2438317	11.7.22 10:08	12.2007028	50,2132487	13100	10082	1	9	0,3267
12,877015	50,2438317	11.7.22 10:11	12.2025267	50,2080601	13100	10082	1	10	0,7892
12,877015	50,2438317	11.7.22 10:18	12.1948833	50,2144537	13100	10082	1	11	1,177
12,877015	50,2438317	11.7.22 10:25	12.1923295	50,2159422	13100	10082	1	12	0,332
12,877015	50,2438317	11.7.22 10:28	12.1931446	50,2138369	13100	10082	1	13	0,2343
12,877015	50,2438317	11.7.22 10:35	12.1834679	50,2186432	13100	10082	1	14	1,1591
12,877015	50,2438317	11.7.22 10:36	12.1836248	50,2186714	13100	10082	1	15	0,0024
12,877015	50,2438317	11.7.22 10:38	12.180356	50,2178056	13100	10082	1	16	0,2791
12,877015	50,2438317	11.7.22 10:39	12.1817433	50,2183002	13100	10082	1	17	0,1314
12,877015	50,2438317	11.7.22 10:42	12.1791459	50,2191509	13100	10082	1	18	0,2816
12,877015	50,2438317	11.7.22 10:48	12.1696446	50,2143195	13100	10082	1	19	0,9694
12,877015	50,2438317	11.7.22 10:51	12.1705491	50,2139182	13100	10082	1	20	0,2191
12,877015	50,2438317	11.7.22 11:07	12.1846016	50,2203201	13100	10082	1	21	1,3757
12,877015	50,2438317	11.7.22 11:18	12.1814824	50,2236931	13100	10082	1	22	0,9447
12,877015	50,2438317	11.7.22 11:20	12.1783844	50,2228394	13100	10082	1	23	0,2716
12,877015	50,2438317	11.7.22 11:20	12.1779386	50,2239508	13100	10082	1	24	0,1499
12,877015	50,2438317	11.7.22 11:25	12.181082	50,226655	13100	10082	1	25	0,4411
12,877015	50,2438317	11.7.22 11:28	12.181562	50,2265138	13100	10082	1	26	0,014
12,877015	50,2438317	11.7.22 11:31	12.1832871	50,2294275	13100	10082	1	27	0,7004
12,877015	50,2438317	11.7.22 11:36	12.1711949	50,2353588	13100	10082	1	28	1,7903
12,877015	50,2438317	11.7.22 11:39	12.1672577	50,2369823	13100	10082	1	29	0,6463
12,877015	50,2438317	11.7.22 11:42	12.1757566	50,230957	13100	10082	1	30	1,1372
12,877015	50,2438317	11.7.22 11:46	12.1859979	50,2244247	13100	10082	1	31	1,4175
12,877015	50,2438317	11.7.22 11:48	12.1873782	50,221928	13100	10082	1	32	0,3044
12,877015	50,2438317	11.7.22 11:59	12.1889688	50,2213428	13100	10082	1	33	0,1624
12,877015	50,2438317	11.7.22 12:00	12.189016	50,2210691	13100	10082	1	34	0,0211
12,877015	50,2438317	11.7.22 12:05	12.1918302	50,2192801	13100	10082	1	35	0,301
12,877015	50,2438317	11.7.22 12:05	12.1919889	50,2192693	13100	10082	1	36	0,0093
12,877015	50,2438317	11.7.22 12:09	12.1944442	50,218204	13100	10082	1	37	0,2105

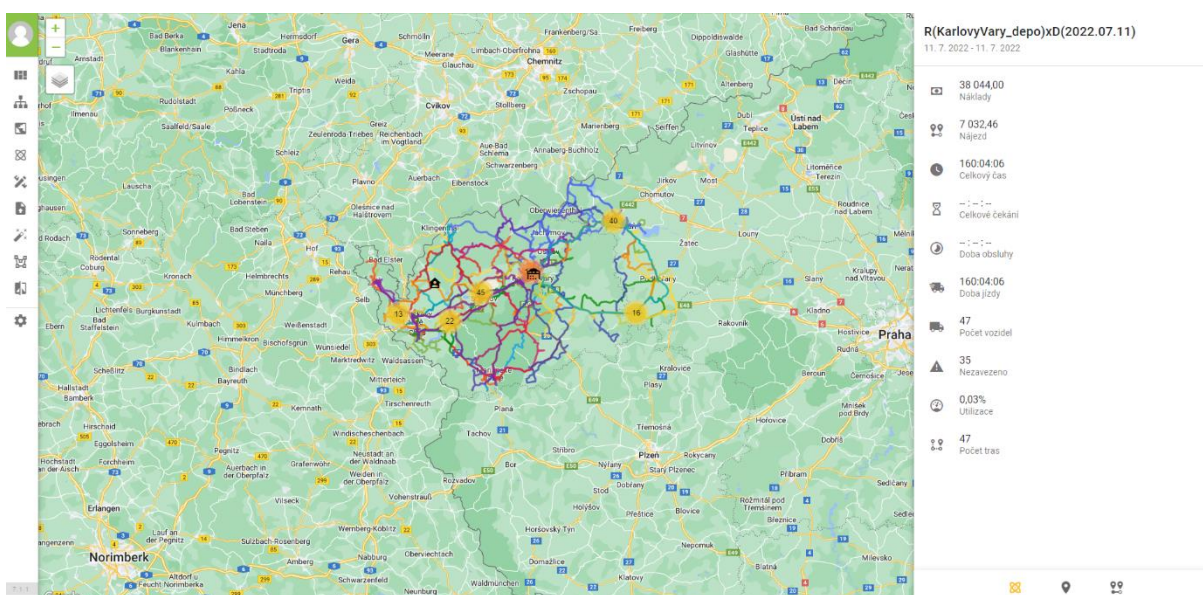
Obrázek 23 Počet ujetých kilometrů za sledované období [vlastní zpracování]

12. Návrh řešení pomocí zvolené metody

Pro řešení praktické části byly vydefinovány dvě varianty, kterými se nadále budeme zabývat. Jedná se o variantu nazvanou „Regiony“ a propojenou variantu. V rámci celé praktické části byl využit nástroj od společnosti Logio s názvem „Distribution wizard“.

12.1. Simulační nástroj Distribution wizard

Distribution Wizard nebo také DW, je expertní nástroj, který dokáže na základě importu definovaných dat simulovat procesy v distribuční síti a optimalizovat celkové náklady. Jádrem celého DW je algoritmus pro řešení VRP problému (Vehicle Routing Problem). Na pozadí celého DW je komplexní model, který dokáže modelovat distribuční síť na základě reálných dat poskytnutých od společností se zohledněním aktuálních omezení na veřejných komunikacích. Jinými slovy je možné zohlednit v modelu například aktuální uzavírky nebo objízdné trasy.



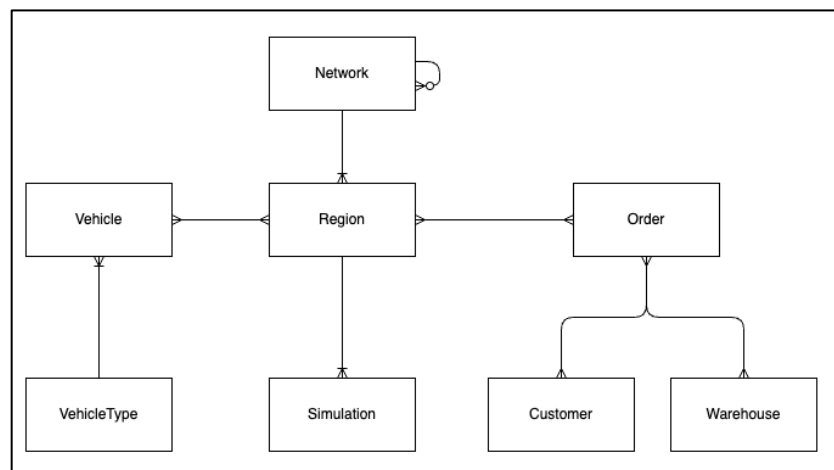
Obrázek 24 Rozhraní nástroje DW [21]

Pro správné pochopení fungování nástroje je nutné znát terminologii, která je definovaná následovně:

- Síť – jedná se o konsolidování objednávek a regionů v jednu distribuční síť. Distribuční síť rozumíme například v našem případě přepravní síť společnosti PPL. Síť je možné různě propojovat a kombinovat. Další možností je složení sítě z dalších podsítí.
- Region – definovaná oblast zájmu distribuce, jedná se o existující oblast. Jde o nejmenší jednotku, v rámci, které DW počítá simulace.

- Flotila vozidel – flotila se skládá z jednotlivých vozidel, které zajišťují distribuci objednávek do místa určení. Vozidla jsou rozdělena dle typu a specifikací.
- Simulace – výpočet simulace probíhá nad množinou objednávek pro konkrétní sklad a časový údaj (den, týden, měsíc).
- Cesta – celkově vypočítaná simulace se skládá z jednotlivých cest, které projede vozidlo.
- Lokace – lokace je rozdělena na zákazníky a sklady/ depa a je součástí regionů.
- Objednávka – jedná se o soubor zásilek nebo palet, které jsou zaváženy do místa určení.

Rozpad celé struktury DW pro simulace distribučních a přepravních sítí je možné vidět níže na Obrázku 25.



Obrázek 25 Model jednotlivých entit DW [21]

Další důležitou částí samotného Distribution Wizard je samotné jádro nástroje, které se skládá z mnoha částí. Součástí Distribution Wizard je soubor všech informací definovaný v matici vzdáleností, která je dimenzovaná na velké množství lokací. Pro řešení simulace distribučních sítí je nutné znát vzdálenosti a časy mezi jednotlivými body.

Další oblastí nástroje DW je tzv. Scoring, který nám definuje businessová omezení celého modelu. V rámci definované účelové funkce můžeme minimalizovat například náklady, vzdálenost nebo velikost vozového parku. Celý výpočet pak probíhá v jádru nástroje, který je řízen pomocí JSprit (kapitola 5.7.). V případě, že nejsou například rozvezeny všechny zásilky, tak potom nastává způsob penalizace řešení za nezavezené zásilky. Penalizace je součástí účelových funkcí a dalších funkcí modelu. Pro ovlivnění výpočtu a tvoření řešení máme další omezení v rámci modelu, kdy tato omezení dělíme na Hard Constraints a Soft Constraints.

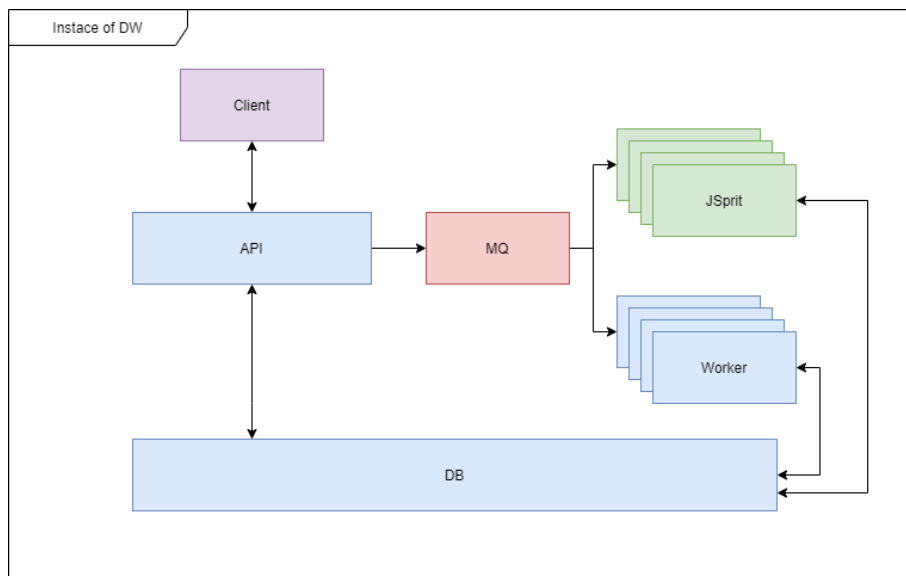
- *Hard Constraints* – pokud algoritmus poruší omezení, tak vytvořil nevalidní řešení a nadále v tomto řešení nepokračuje.
- *Soft Constraints* – pokud algoritmus poruší omezení, tak je penalizován a motivován k vytvoření lepšího řešení.

DW disponuje i dalšími omezeními vztaženými k jednotlivým kategoriím jako je Route Constraints, tedy omezení definované na jednotlivé cesty. Další variantou může být Activity Constraints, která je vztažena k aktivitě jako je příkladně časové okno. To znamená, zda se aktivita vejde do definovaného časového okna nebo ne.

Mezi další části DW patří strategie vkládání, kdy v případě do 500 objednávek DW využívá „Regret Insertion“, tedy vyhodnocuje vývoj výsledku retrospektivně. Algoritmus v tomto místě porovnává řešení z předchozího kroku a z historicky dosaženými výsledky. Jedná se o velmi časově náročné řešení a zároveň poměrně přesné řešení. Druhou variantou strategie vkládání je „Best Insertion“, kdy algoritmus funguje na principu hladového algoritmu a je využíván pro objednávky v počtu větším než 500. Princip fungování je, že vybere aktuálně nejlepší řešení a zároveň neporovnává aktuálně získané řešení s historickými výsledky algoritmu. Tento způsob strategie je rychlejší, ale s horším výsledkem oproti „Regret Insertion“.

Samotné jádro je založeno na JSprit, který je úzce zaměřen na VRP problém a tento open-source nástroj v sobě integruje strategii Ruin and Recreate, kterou jsme definovali v teoretické části této diplomové práce.

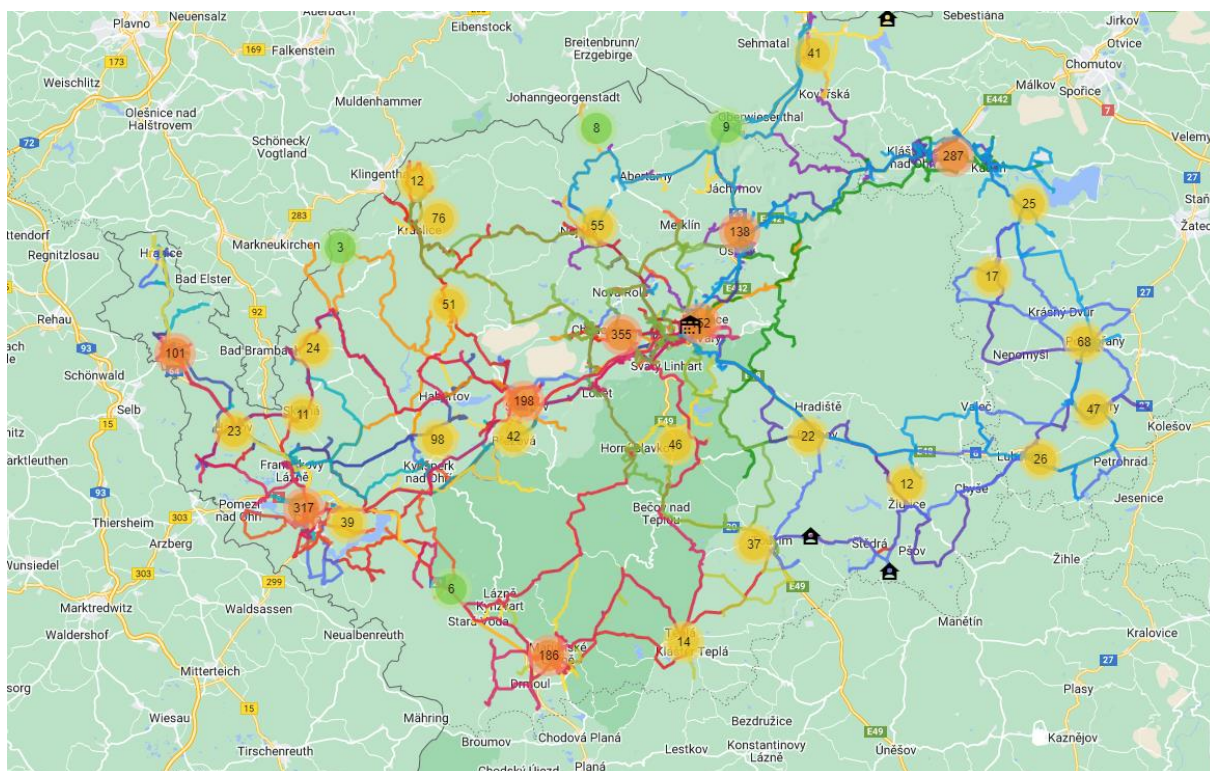
Na Obrázku 26 je možné vidět architekturu celého Distribution Wizard, kdy komponenta klient zpracovává vstupy od uživatele, zobrazuje výstupy a komunikuje se serverem. Další částí je API (Application Programming Interface), tedy komunikátor pro dva a více počítačové programy, který v našem případě komunikuje s klientem, MQ a databází. Zkratka MQ znamená Message Queue a jedná se o mechanismus pro asynchronní přenos zpráv mezi aplikacemi a službami. Mezi další podstatnou část patří samotná databáze (DB), která komunikuje s motorem celého nástroje JSprit a tzv. Workerem. Pracovník neboli „Worker“ je proces, který dokáže pracovat na přiděleném úkolu a uživatel může pokračovat ve svém procesu.



Obrázek 26 Architektura nástroje DW [21]

12.2. Propojená varianta

První ze zkoumaných variant byla varianta definovaná jako propojená varianta. Propojenou variantou se rozumí způsob rozvozu zásilek, kdy nezáleží na tom, jak mají řidiči rozdělený region, ale mohou se potkávat na jednotlivých trasách. Vstupem pro výpočet byly jednotlivé lokace zákazníků a množství objednávek nutných k doručení do daných lokací. Objednávky se skládají z jednotlivých kusů zásilek. Na Obrázku 27 je vidět výsledek simulace, kde jsou znázorněny jednotlivé trasy.



Obrázek 27 Simulace náhodné varianty [vlastní zpracování]

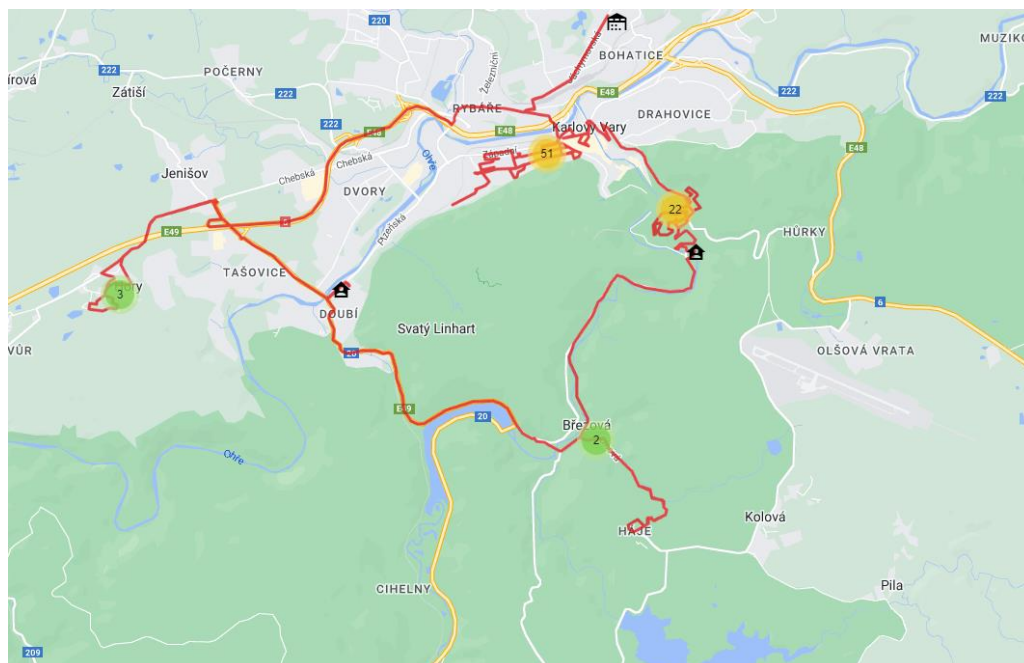
Data byla nejdříve připravena v nástroji Microsoft Excel a následně pomocí kódu napsaného v programovém rozhraní RStudio převedena na formát CSV. Dále byla data nahrána do nástroje Distribution Wizard, kde pomocí algoritmu založeného na metaheuristice se strategií s názvem *Ruin and Recreate* byly vypočteny jednotlivé optimální trasy, tak aby byly zavezeny všechny objednávky. V modelu je definovaná konečná flotila vozidel, tedy přesně daný počet vozidel. Flotila vozidel, jak bylo zmíněno v bodě popisu vozového parku depa (kapitola 11.1.), dělíme na vozidla s dieselovým pohonem a na vozidla s elektrickým pohonem. Celkový počet objednávek k doručení za sledované období byl 16 843 a celkový počet ujetých kilometrů na základě použití metody *Ruin and Recreate* byl přibližně 18 960. Výsledkem byly přibližné týdenní náklady, které činily 97 750 Kč za provoz všech vozidel, které byly použity při rozvozu zásilek. Náklady jsou přepočteny na počet ujetých kilometrů, kdy v případě dieselových vozidel je počítáno s cenou za jeden kilometr 5,6 Kč a pro elektrická vozidla je počítáno s částkou

2,1 Kč za jeden kilometr. V případě elektrických vozidel bylo zjištěno, že těmto vozidlům jsou přiřazeny trasy s menším počtem ujetých kilometrů dle specifikací vozidel a trasy jsou přidělovány do centra města a jeho periferií.

12.3. Varianta „Regiony“

Druhou zkoumanou variantou byla varianta nazvaná „Regiony“, kde byla celá oblast nejprve rozdělena na menší části a v těch bylo řešeno trasování odděleně. V rámci PPL CZ funguje shlukování lokací pro rozvoz zásilek dle poštovního směrovacího čísla, jak už bylo zmíněno v této práci. Jde tedy o způsob vytváření clusterů dle bodu z teoretické části (kapitola 7.5.).

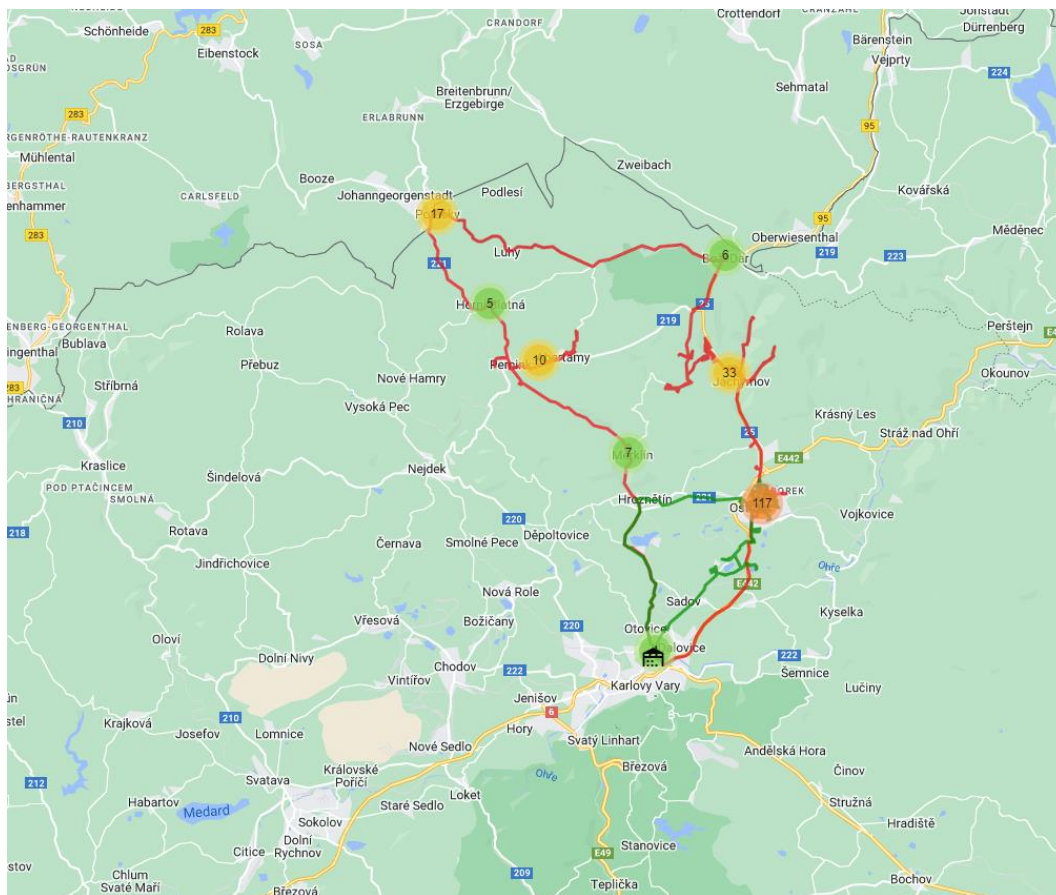
Prvním krokem v rámci této varianty řešení bylo připravit přiřazení jednotlivých vozidel do přidělených okruhů. Pro tuto problematiku byl opět vytvořen kód v programovém prostředí RStudio, který je možné vidět na Obrázku 30. Lokace pro rozvoz zásilek byly přiřazeny jednotlivým směrům. Tyto směry neboli okruhy jsou tvořeny podle poštovního směrovacího čísla. Data byla následně opět připravena v nástroji Microsoft Excel a nahrána do nástroje Distribution Wizard, kde byly kalkulovány jednotlivé trasy rozvozu zásilek.



Obrázek 28 Ukázka trasy varianty "Regiony" [vlastní zpracování]

Výstupem této varianty bylo zjištěno, že při stejném počtu zásilek za sledované období, tedy 16 843, byl počet ujetých kilometrů přibližně 22 701. Celkové náklady pro tuto variantu jsou přibližně 128 800 Kč za týden provozu vozidel. Jedná se o náklady za stejných podmínek jako u náhodné varianty, kdy jeden kilometr cesty u dieselových vozidel stojí 5,6 Kč a u vozidel s elektrickým pohonem stojí jeden kilometr 2,1 Kč. Jak už bylo zmíněno v předešlé variantě,

i zde JSprit přiděluje elektrickým vozidlům okruhy s menším nájездem kilometrů. Na Obrázku 28 je možné vidět přidělení okruhu elektrickému vozidlu v centru města a periferii města. Na druhé ukázce, tedy Obrázku 29 je pak vidět návrh trasy u přiděleného regionu vozidlu na dieselový pohon, kdy délka trasy je až třikrát větší oproti elektrickým vozidlům.



Obrázek 29 Ukázka trasy pro dieselová vozidla [vlastní zpracování]


```

1 options(scipen = 999)
2 library(readxl)
3 library(dplyr)
4 library(magrittr)
5 library(lubridate)
6 loc <- read_xlsx("locations.xlsx")
7 n <- read_xlsx("networks.xlsx")
8 o <- read_xlsx("orders.xlsx")
9 o %<>%
10   mutate(size = gsub(pattern = "\\[", replacement = "", x = size),
11          size = gsub(pattern = "\\]", replacement = "", x = size),
12          size = round(as.numeric(size) * 1000)) %>%
13   filter(!is.na(size)) %>%
14   mutate(size = paste0("[", size, "]")) %>%
15   filter(key != 36877)
16
17 r <- read_xlsx("regions.xlsx")
18 r %<>% mutate(configuration = "konecna")
19 rn <- read_xlsx("regions_networks.xlsx")
20 ro <- read_xlsx("regions_orders.xlsx")
21 ro %<>%
22   filter(order %in% o$key,
23          target %in% loc$key)
24 vt <- read_xlsx("vehicle_types.xlsx")
25 vt %<>%
26   mutate(capacity = gsub(pattern = "\\[", replacement = "", x = capacity),
27          capacity = gsub(pattern = "\\]", replacement = "", x = capacity),
28          capacity = round(as.numeric(capacity) * 1000),
29          capacity = paste0("[", capacity, "]"))
30
31 v <- read_xlsx("vehicles.xlsx")
32 v %<>%
33   mutate(earliest_start_time = as.character(earliest_start_time),
34          earliest_start_time = gsub(pattern = "1899-12-31 ", "", earliest_start_time),
35          latest_end_time = as.character(latest_end_time),
36          latest_end_time = gsub(pattern = "1899-12-31 ", "", latest_end_time))
37
38 clustery <- readxl::read_xlsx("Směry_DW.xlsx")
39
40 r <-
41   clustery %>%
42   select(`ID směru`) %>%
43   unique() %>%
44   rename(`key` = `ID směru`) %>%
45   mutate(name = key,
46          area = "[",
47          step = "day",
48          configuration = "default")
49 rn <-
50   expand.grid(1, r$key) %>%
51   set_colnames(., c("network", "region"))
52
53 ro %<>%
54   left_join(clustery %>%
55             select(order = Order,
56                    `ID směru`)) %>%
57   mutate(region = `ID směru`) %>%
58   select(-`ID směru`)
59
60 n.unique.regions <- r$key %>% length()
61
62 if (nrow(v) > n.unique.regions) {
63   v <-
64     v[1:n.unique.regions, ] %>%
65     mutate(region = r$key)
66 } else {
67   stop("MORE REGIONS THAN VEHICLES")
68 }
69
70
71 write.csv(loc, "locations.csv", row.names = F, fileEncoding = "UTF-8")
72 write.csv(n, "networks.csv", row.names = F, fileEncoding = "UTF-8")
73 write.csv(o, "orders.csv", row.names = F, fileEncoding = "UTF-8")
74 write.csv(r, "regions.csv", row.names = F, fileEncoding = "UTF-8")
75 write.csv(rn, "regions_networks.csv", row.names = F, fileEncoding = "UTF-8")
76 write.csv(ro, "regions_orders.csv", row.names = F, fileEncoding = "UTF-8")

```

Obrázek 30 Kód pro cluster metodu [vlastní zpracování]

13. Zhodnocení dosažených výsledků

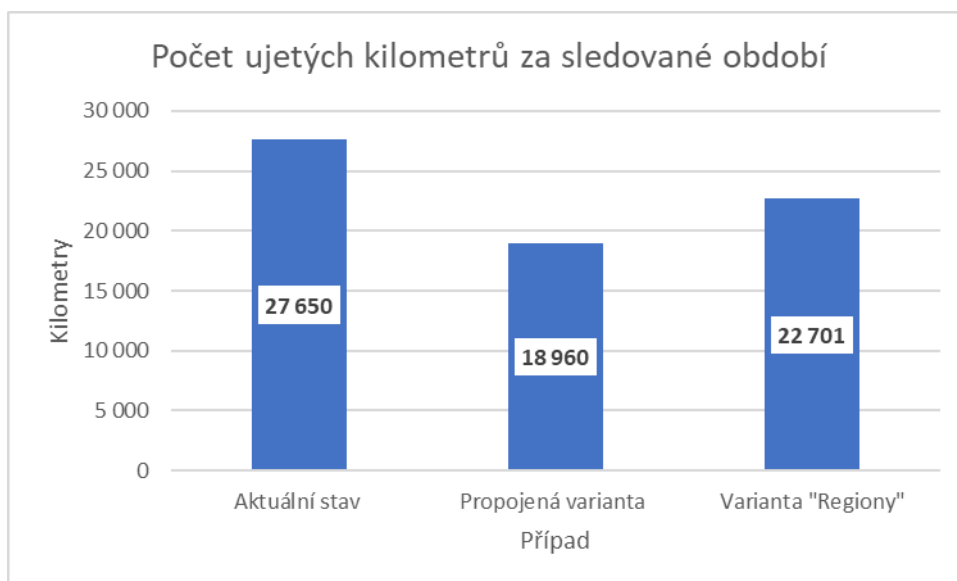
V rámci práce byly řešeny a ověřeny metodou *Ruin and Recreate* celkem dvě varianty návrhů tras a strategií při rozvozu zásilek. A to propojená metoda, kde šlo především o náhodné potkávání se vozidel na jednotlivých trasách a metoda „Regiony“, kde byly lokace přiděleny jednotlivým okruhům a vytvořeny tak clustery. Zároveň bylo nutné znát historický stav, který jsme rekonstruovali v programovém prostředí RStudio, abychom dokázali porovnat dosažené výsledky. V dalších částech této kapitoly jsou postupně vyhodnoceny výsledky práce. V poslední části této práce je úkolem zjistit celkový počet vozidel na elektrický pohon, aby byla zajištěna obslužnost regionu do budoucích let.

13.1. Porovnání dosažených výsledků

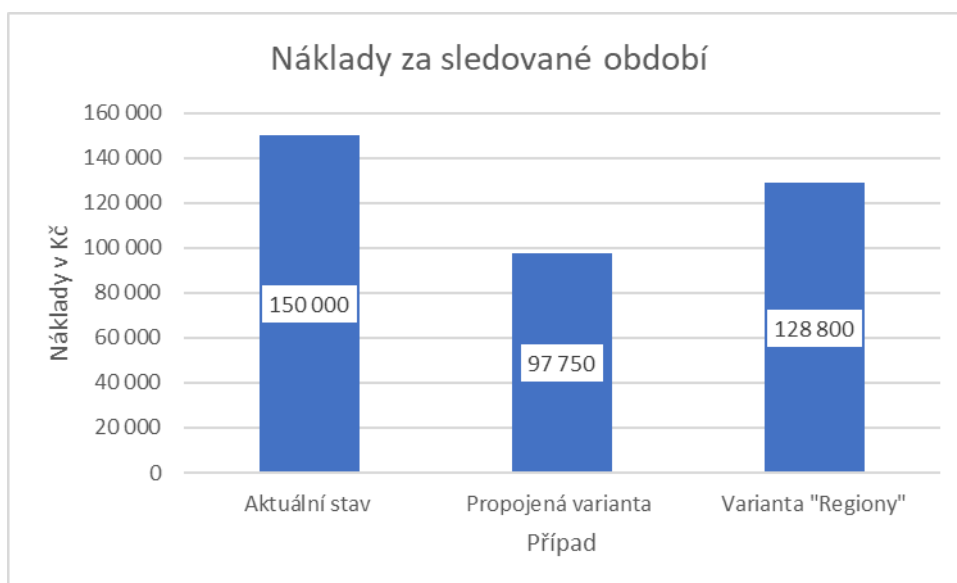
Pro porovnání výsledků simulace je použito grafické znázornění na Obrázku 31 a Obrázku 32. Výstupem jednotlivých variant řešení je celkový počet ujetých kilometrů a celkové náklady vzhledem k ujetým kilometrům s ohledem na jednotlivé strategie. Celkově byly ověřeny, jak už bylo řečeno, tři varianty, a to aktuální stav, propojená varianta a varianta „Regiony“.

Pro aktuální stav rozvozu zásilek za sledované období platí počet najetých kilometrů 27 650. Jedná se o stav před optimalizací. Druhým řešením práce byla propojená varianta, kdy se vozidla mohla potkávat během rozvozu zásilek na jednotlivých trasách. Zde byl zjištěn přibližný nájezd kilometrů 18 960. Výsledkem je zlepšení o 31,5 % oproti historickému stavu při použití zmíněné metody *Ruin and Recreate*. Druhou testovanou variantou byla varianta s názvem „Regiony“, kde vozidla byla přiřazena jednotlivým částem regionu. Pro tento stav byl vypočten celkový počet ujetých kilometrů, a to 22 701. Oproti historickému stavu bylo dosaženo zlepšení o 21,8 %. Lze tedy říci, že v případě použití metody *Ruin and Recreate* a strategie, kdy se vozidla potkávají náhodně na trase u propojené varianty je možné dosáhnout řešení s lepším výsledkem. Při použití propojené varianty dáváme algoritmu větší prostor pro optimalizaci a můžeme tedy dosáhnout lepších výsledků. Oproti variantě „Regiony“, kde jsou na vstupu definovány jednotlivé okruhy tras a algoritmus má menší prostor pro případnou optimalizaci trasy.

Pro porovnání jednotlivých variant bylo doplněno i finanční srovnání, kdy v rámci sledovaného období, tj. 11. 7. – 15. 7. 2022, byly zjištěny celkové náklady 150 000 Kč. Náklady jsou vztaženy k nákladům za jeden ujetý kilometr, kdy u vozidel s dieselovým pohonem je počítáno s hodnotou 5,6 Kč za jeden ujetý kilometr a u elektrických vozidel je počítáno s hodnotou 2,1 Kč za jeden ujetý kilometr. Náklady u propojené varianty byly spočteny na 97 750 Kč za jeden týden a pro variantu „Regiony“ byly spočteny náklady na 128 800 Kč za jeden týden.



Obrázek 31 Počet ujetých kilometrů za sledované období [vlastní zpracování]



Obrázek 32 Náklady na počet ujetých kilometrů [vlastní zpracování]

13.2. Obslužnost regionu pomocí elektrických vozidel

Jedním z posledních požadavků bylo zjistit obslužnost regionu pouze elektrickými vozidly. Jde především o analýzu, která může pomoci společnosti PPL CZ do budoucna plánovat množství vozidel na elektrický pohon. Z důvodu snižování emisí a vysokému tlaku na redukci vozidel na dieselový pohon bude společnost v budoucnu nucena obnovit vozový park a nahradit vozidla

s dieselovým pohonem. V rámci simulace tohoto scénáře bylo uvažováno se sledovaným obdobím z předešlých analýz a s počtem objednávek rovnajícím se číslu 16 843. S ohledem na tyto faktory bylo zjištěno, že pro obslužnost regionu s elektrickými vozidly a totožnými specifikacemi vozidel používaných dnes, bude nutné disponovat flotilou vozidel o velikosti přibližně 50 vozidel. Pro tuto variantu s obsluhností pouze elektrickými vozidly byly spočteny investiční a provozní náklady (CAPEX/ OPEX). Zkratky a pojmy CAPEX (Capital Expenditures) a OPEX (Operational Expenditures) jsou spojeny s peněžními toky. CAPEX je výdaj na pořízení stálých aktiv, jinými slovy investiční náklady například na nákup nové technologie. Naopak OPEX jsou neinvestiční výdaje firmy. Jedná se například o provozní náklady technologií. Je nutné si uvědomit, že tato varianta počítá s vlastnictvím vozidel společností PPL CZ. V aktuálním stavu jsou řidiči spolu s vozidly nájímáni externě a společnost PPL CZ nabízí pouze službu přepravy. Vstupem pro výpočet nákladů jsou fixní náklady za vozidla, dále údržba a náhradní díly, které jsou spočteny jako 1 % z investičních nákladů. Dále je uvažováno s náklady za počet ujetých kilometrů, kdy počet ujetých kilometrů za rok je vypočítán na základě poskytnutých dat historického stavu. Poslední položkou kalkulace jsou roční náklady za řidiče, které činí přibližně 500 000 Kč za jednoho řidiče za rok. U počtu řidičů je počítáno s navýšením 10 % oproti vozidlům z důvodu nemocnosti a jiných faktorů. Na obrázcích níže je vidět soupis informací pro výpočet nákladovosti. Na Obrázku 33 je vidět varianta 1, kdy společnost disponuje heterogenní flotilou složenou z vozidel na elektrický a dieselový pohon. Výsledkem jsou náklady za první rok investic včetně provozních nákladů.

CAPEX				
Položka	Množství	Jednotka	CZK za jednotku	CZK
Typ vozidla				48 330 000
Dieselový pohon	44	ks	990 000	43 560 000
Elektrický pohon	3	ks	1 590 000	4 770 000
Investiční náklady v 1. roce				48 330 000
OPEX				
Údržba a náhradní díly				966 600
Údržba	1%	-	-	483 300
Náhradní díly	1%	-	-	483 300
Náklady na km				8 289 752
Dieselový pohon	1 432 704	km	5,67	8 123 432
Elektrický pohon	79 200	km	2,1	166 320
Zaměstnanci				26 000 000
Řidiči	52	člověk	500 000	26 000 000
Provozní náklady v 1. roce bez lidí				9 256 352
Provozní náklady v 1. roce celkem				35 256 352

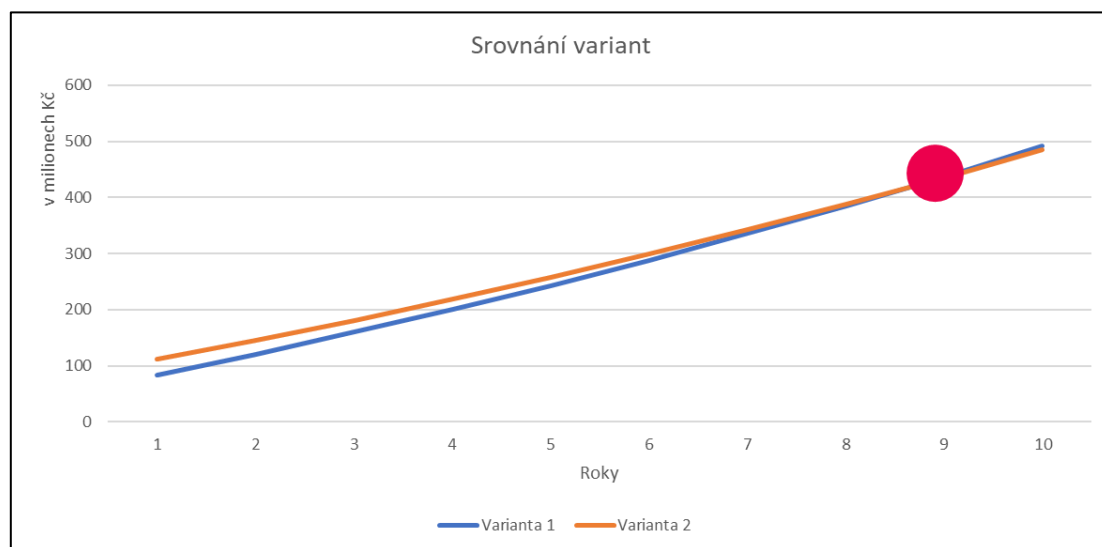
Obrázek 33 Tabulka nákladovosti při heterogenní flotile vozidel [vlastní zpracování]

V druhé porovnávací variantě 2, která je vidět na Obrázku 34 je vidět pouze homogenní flotila vozidel a vyčíslení jednotlivých nákladů. Opět jako u předešlé varianty s heterogenní flotilou vozidel i zde je vidět součet za první rok investice do vozového parku včetně provozních nákladů.

CAPEX				
Položka	Množství	Jednotka	CZK za jednotku	CZK
Typ vozidla				79 500 000
Elektrický pohon	50	ks	1 590 000	79 500 000
Investiční náklady v 1. roce				79 500 000
OPEX				
Údržba a náhradní díly				1 590 000
Údržba	1%	-	-	795 000
Náhradní díly	1%	-	-	795 000
Náklady na km				3 174 998
Elektrický pohon	1 511 904	km	2,1	3 174 998
Zaměstnanci				27 500 000
Řidiči	55	člověk	500 000	27 500 000
Provozní náklady v 1. roce bez lidí				4 764 998
Provozní náklady v 1. roce celkem				32 264 998

Obrázek 34 Tabulka nákladovosti při homogenní flotile elektrických vozidel [vlastní zpracování]

Výsledkem porovnání těchto dvou variant je bod zvratu, kdy se začíná vyplácet varianta s pouze elektrickými vozidly a společnosti začnou vznikat úspory z provozních nákladů. Do celkového porovnání je zahrnuta i roční indexace 5 % pro zohlednění inflace. Při porovnání bylo zjištěno, že při investici do flotily vozidel pouze na elektrický pohon bude vznikat úspora na provozních nákladech na začátku devátého roku provozu, kdy byl identifikován bod zvratu. Výstup je vidět na Obrázku 35. Celý výpočet je možné shlédnout v příloze číslo 2 s názvem „CAPEX a OPEX“.



Obrázek 35 Srovnání nákladovosti variant [vlastní zpracování]

14. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo analyzovat historický stav při rozvozu zásilek a navrhnout strategii rozvozu zásilek se zohledněním heterogenní flotily vozidel pro zvolenou společnost. Pro analýzu historického stavu byl použit připravený kód v programovém prostředí RStudio pro zjištění historicky ujetých kilometrů za sledované období. Následně byly vydefinovány dvě varianty pro řešení a porovnány s historickým stavem. První variantou byl případ s názvem „Propojená varianta“, kde šlo především o potkávání řidičů při rozvážení zásilek a nerespektování rozdělení regionu na jednotlivé okruhy tak, aby nedošlo k potkávání. Druhou variantou byl případ s názvem „Regiony“, kde jednotlivá vozidla měla přidělenou oblast před naplánováním a optimalizací tras. Oba případy pro porovnání a ověření zlepšení byly simulovány v poskytnutém nástroji Distribution Wizard za použití metody pro řešení VRP problému *Ruin and Recreate*.

Princip metody *Ruin and Recreate* je založen na zničení poměrně velké části aktuálního řešení a následně postupným vkládáním jednotlivých požadavků je opět obnoveno řešení. V našem případě jsou zničeny některé části řešení, například část trasy nebo části více tras. Na základě této metody je možné získat velmi dobrá řešení za relativně krátký čas.

Pro řešení a ověření definovaných variant jsem použil nástroj od společnosti Logio s.r.o. s názvem Distribution Wizard, který je využíván na simulování navržených variant při optimalizování distribučních nebo přepravních sítí. Nástroj Distribution Wizard nebo také DW v sobě integruje jádro založené na open-source řešení JSprit, které bylo několikrát zmíněno v této práci. Po provedení simulace přepravní sítě zvolené společnosti jsem výstupy z nástroje DW použil pro ekonomické zhodnocení dosažených výsledků a porovnání, která z definovaných variant má větší potenciál pro budoucí plánování tras.

Zvolená společnost aktuálně disponuje softwarovým řešením pro plánování tras při rozvozu jednotlivých zásilek. Bohužel ne vždy jsou takto naplánované trasy využity jednotlivými řidiči, kteří mnohdy jezdí dle vlastních znalostí místního regionu. Pro ověření historického stavu bylo nutné znát celkový počet ujetých kilometrů za sledované období, který jsem zjistil za pomoci vytvoření kódu v programovém prostředí RStudio. Prostředí aplikace RStudio bylo použito i pro přidělení jednotlivých zásilek do definovaných okruhů při variantě s názvem „Regiony“. Pro všechny varianty a všechna řešení byly použity stejné vstupní podmínky týkající se časového období a počtu zásilek včetně cílových GPS lokací.

Na základě vytvořeného skriptu v programovém prostředí RStudio byl zjištěn celkový počet ujetých kilometrů v historickém stavu, který činil 27 650 km se zohledněním 16 843 objednávek. Při uvažování první varianty bylo zjištěno zlepšení v počtu ujetých kilometrů na 18 960 kilometrů. Zlepšení v první variantě oproti historickému stavu je tedy o 31,5 %. Druhou uvažovanou variantou byl případ s názvem „Regiony“. Zde bylo zjištěno zlepšení při počtu ujetých kilometrů o 4 949 kilometrů za týden, což značí úsporu oproti historickému stavu 21,8 %. Lepší výsledky propojené varianty lze vysvětlit několika faktory. Propojená varianta prohledává celý prostor přípustných řešení, který zahrnuje optimum řešené úlohy, zatímco varianta „Regiony“ rozdělí úlohu na menší podúlohy a hledá optimum pouze pro tyto menší části, řeší tak celkový problém pouze suboptimálně. Dále je zde faktor doby výpočtu. Vytvoření clusterů má větší význam v situacích, kdy probíhá výpočet jen krátkou dobu a celá úloha je příliš rozsáhlá na to, aby bylo možné najít v odpovídajícím čase dostatečně kvalitní řešení. Pak může úvodní rozdělení problému na menší části přinést lepší výsledky.

Z hlediska nákladovosti vycházel historický stav na 150 000 Kč za jeden týden rozvozu zásilek. Kalkulace nákladovosti byla závislá vstupních údajích 5,6 Kč za jeden ujetý kilometr u dieselových vozidel a 2,1 Kč za jeden ujetý kilometr u vozidel s elektrickým pohonem. Při variantě jedna, tedy propojené variantě vznikla úspora 52 250 Kč za jeden týden. Celkové náklady za jeden týden u propojené varianty jsou 97 750 Kč. Při druhé prověřované variantě s názvem „Regiony“ vznikla finanční úspora oproti historickému stavu 21 200 Kč za jeden týden. Celkové náklady u druhé varianty za jeden týden pak byly 128 800 Kč.

S ohledem na tyto dosažené výsledky byla ověřena funkčnost metody *Ruin and Recreate*, s jejímž použitím je možné dosáhnout zajímavých výsledků a zároveň byl použit zajímavý nástroj *Distribution Wizard* pro plánování strategií v distribučních a přepravních sítích. Na základě těchto výsledků vyšla lépe z celkové analýzy propojená varianta. Při této variantě dochází k potkávání jednotlivých vozidel na trasách. Tato strategie má velký potenciál pro efektivní plánování strategie rozvozu zásilek, ale je nutné si uvědomit, že získané výsledky ze simulace jsou teoretické. Pro zohlednění okolních vlivů při reálném rozvozu zásilek je možným řešením navýšení výsledného řešení o 20 %. V případě navýšení o 20 % by počet najetých kilometrů u propojené varianty vycházel 22 752 a úspora oproti historickému stavu by pak vycházela 21,5 %. Dále je nutné si uvědomit, že případná implementace propojené varianty by pro zvolenou společnost nemusela být atraktivní, a to z důvodu velkých nákladů na změnu operativy v logistice nebo narušení hodnoty vztahu mezi zákazníkem a kurýrem.

Posledním výstupem práce bylo ověření a naplánování, z kolika vozidel na elektrický pohon by se musela skládat flotila vozidel, aby obsloužila zvolený region. Na základě údajů

z historických dat bylo zjištěno, že na obsluhu celého regionu vozidly na elektrický pohon, které mají stejné specifikace jako ty dnešní, bude potřeba disponovat flotilou vozidel o velikosti 50 vozidel. Výstupem pro porovnání byl pak výpočet investičních a provozních nákladů u heterogonní flotily složené z vozidel používaných dnes a homogenní flotily vozidel složené pouze z elektrických vozidel. V případě, že by společnost chtěla vlastnit vozový park, tak byla zjištěna návratnost investice do homogenní flotily vozidel složené z elektrických vozidel na začátku devátého roku se zohledněním provozních nákladů na vozidlo a nákladů na samotné řidiče.

V rámci tvorby této diplomové práce jsem měl možnost se seznámit s reálným provozem společnosti PPL CZ, pochopit jednotlivé procesy při pohybu zásilky společností a identifikovat neefektivitu s ohledem na historická data. Dále jsem měl možnost použít nástroj Distribution Wizard, který mi poskytla společnost Logio pro výpočet a ověření jednotlivých variant. Věřím, že výsledky jednotlivých variant, kterých bylo dosaženo, mohou pomoci při další strategii rozvozu zásilek a zároveň výsledky, které přineslo ověření obslužnosti regionu, může pomoci v dalším rozhodování obnovy vozového parku. Zároveň doufám, že poznatky získané tvorbou diplomové práce využiju a pomohou mi při řešení problematik v pracovním životě.

15. Použité zdroje

- [1] Vovcr.cz. Vovcr [online]. Praha [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: <https://www.vovcr.cz/odz/ekon/409/page02.html>
- [2] Vovcr.cz. Vovcr [online]. Praha [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: <https://www.vovcr.cz/odz/ekon/409/page02.html>
- [3] KAČMÁR, Jakub. Ekonomická analýza kamiónovej prepravy v spoločnosti PPL CZ s.r.o. Praha, 2021. Diplomová práce. Vysoká škola ekonomická v Praze.
- ŠTĚPANČÍK, Ing. Ondřej. *Rizika řízení logistiky v podniku*. Brno, 2017. Diplomová práce. VUT v Brně.
- [4] Novák, R., Zelený, L., Pernica, P., Kolář, P.(2011). *Přepravní, zasílatelské a logistické služby*. Praha, Česko: Wolters Kluwer
- [5] PRAGEROVÁ, Nikola. *Zefektivnění logistického procesu zpracování balíkových zásilek*. České Budějovice, 2020. Diplomová práce. Vysoká škola technicko-ekonomická v Českých Budějovicích.
- [6] *Mrgeo-blog.com* [online]. 2019 [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://www.mkrgeo-blog.com/how-to-make-isochrone-map-in-google-mymaps-quickly/>
- [7] HARTL, Martin. *Alternativní druhy doručování zásilek v Praze a okolí*. Praha, 2019. Diplomová práce. ČVUT v Praze.
- [8] RYBIČKOVÁ, Alena. APPLICATION OF GENETIC ALGORITHMS TO LOCATION-ROUTING PROBLEM. Prague, 2018. Doctoral thesis. CTU in Prague.
- [9] VRP with Pickup and Delivery. In: *Researchgate* [online]. Montreal, 2002 [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Jacques-Desrosiers/publication/200622146_VRP_with_Pickup_and_Delivery/links/0deec528e7769dcf1d000000/VRP-with-Pickup-and-Delivery.pdf
- [10] Lai, C.Y., Peng, S.L., Yang, S.J. and Chen, C.S., 2020. A heuristic approach for the electric vehicle routing problem with time windows using a clustering technique. *Applied Soft Computing*, 87, p.105937.
- [11] Sefrioui, M., Dkhichi, F. and Benyamina, A., 2018. A hybrid approach based on clustering and genetic algorithm for solving electric vehicle routing problem with time windows. *Energy Procedia*, 152, pp.1206-1211.
- [12] Diabat, A. and Jaber, M.Y., 2014. A clustering-based approach for the electric vehicle routing problem with time windows. *IEEE Transactions on Sustainable Computing*, 1(2), pp.89-98.
- [13] Electric vehicle routing problem [online]. In: 2015 [cit. 2023-05-01]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/299459985_Electric_Vehicle_Routing_Problem
- [14] Jsprit.github. Jsprit.github.io [online]. jsprit, 2014 [cit. 2023-05-01]. Dostupné z: <https://jsprit.github.io/>

- [15] Extending JSprit to solve electric vehicle routing problems with recharging [online]. In: Porto, Portugal: Procedia computer science, 2022, s. 7 [cit. 2023-05-01]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050922004525>
- [16] Sas. Blogs.sas.com [online]. 2016 [cit. 2023-05-01]. Dostupné z: <https://blogs.sas.com/content/subconsciousmusings/2016/05/26/data-mining-clustering/>
- [17] PPL. <https://www.ppl.cz/o-nas> [online]. 1999 [cit. 2023-05-01]. Dostupné z: <https://www.ppl.cz/o-nas>
- [18] ŠŮMA, Josef. Optimalizace trasy závodu – aplikace simulovaného žihání. Liberec, 2021. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci.
- [19] SCHRIMPF, Gerhard, Johannes SCHNEIDER, Hermann STAMM-WILBRANDT a Gunter DUECK. Record Breaking Optimization Results Using the Ruin and Recreate Principle. Idealibrary. Regensburg, Německo, 2000, 33.
- [20] PECKA, Jiří. Udržitelná přeprava zásilek v prostředí e-commerce. Pardubice, 2021. Diplomová práce.
- [21] Interní materiály společnosti Logio
- [22] REDI, A.A.N. Perwira, Fiki Rohmatul MAULA, Fairuz KUMARI, Natasha Utami SYAVEYENDA, Nanda RUSWANDI, Annisa Uswatun KHASANAH a Adji Chandra KURNIAWAN. Simulated annealing algorithm for solving the capacitated vehicle routing problem: a case study of pharmaceutical distribution. JSMI. 2020, (1), 9. ISSN 2580-2895.
- [23] Rozhovory vedené se zaměstnanci společnosti PPL

Seznam obrázků

Obrázek 1 Logistický systém [1]	12
Obrázek 2 Distribuční strategie [21]	13
Obrázek 3 Optimální distribuční strategie – nákladovost [21]	14
Obrázek 4 Forma distribuce [21]	16
Obrázek 5 Počet řešení distribuční problematiky [21]	17
Obrázek 6 Model distribuční sítě [21]	17
Obrázek 7 Topologie distribuční sítě [vlastní zpracování]	18
Obrázek 8 Topologie distribuční sítě [vlastní zpracování]	18
Obrázek 9 Příklad znázornění isochron [6]	19
Obrázek 10 Ilustrace HUB and Spoke logistické technologie [vlastní zpracování]	27
Obrázek 11: Definice EVRP problému [13]	37
Obrázek 12 Příklad zobrazení clusteringu dle dat [16]	41
Obrázek 13 PPL CZ [17]	44
Obrázek 14 Přepravní síť PPL CZ – toky směrem na centrální překladiště [vlastní zpracování]	46
Obrázek 15 Přepravní síť PPL CZ – toky směrem na balíková depa [vlastní zpracování]	46
Obrázek 16 Ukázka dashboardu z nástroje Power BI [vlastní zpracování]	52
Obrázek 17 Poměr doručených a nedoručených zásilek [vlastní zpracování]	53
Obrázek 18 Poměr zásilek k rozvozu a svozu [vlastní zpracování]	53
Obrázek 19 Poměr vozidel dle typu pohonu [vlastní zpracování]	54
Obrázek 20 Trasa vozidla na elektrický pohon [vlastní zpracování]	55
Obrázek 21 Počet zastávek po jednotlivých dnech [vlastní zpracování]	55
Obrázek 22 Vytíženost vozidel [vlastní zpracování]	56
Obrázek 23 Počet ujetých kilometrů za sledované období [vlastní zpracování]	57
Obrázek 24 Rozhraní nástroje DW [21]	58
Obrázek 25 Model jednotlivých entit DW [21]	59
Obrázek 26 Architektura nástroje DW [21]	61
Obrázek 27 Simulace náhodné varianty [vlastní zpracování]	62
Obrázek 28 Ukázka trasy varianty "Regiony" [vlastní zpracování]	63
Obrázek 29 Ukázka trasy pro dieselová vozidla [vlastní zpracování]	64
Obrázek 30 Kód pro cluster metodu [vlastní zpracování]	65
Obrázek 31 Počet ujetých kilometrů za sledované období [vlastní zpracování]	67
Obrázek 32 Náklady na počet ujetých kilometrů [vlastní zpracování]	67
Obrázek 33 Tabulka nákladovosti při heterogenní flotile vozidel [vlastní zpracování]	68

Obrázek 34 Tabulka nákladovosti při homogenní flotile elektrických vozidel [vlastní zpracování].....	69
Obrázek 35 Srovnání nákladovosti variant [vlastní zpracování]	69

Seznam tabulek

Tabulka 1 Vozidlový park depa Karlovy Vary [vlastní zpracování].....	50
Tabulka 2 Denní hodnoty pohybů zásilek společností [vlastní zpracování]	51

Seznam elektronických příloh

Příloha č. 1 - Analýza vzdáleností historického stavu

Příloha č. 2 - CAPEX a OPEX