

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra systémového inženýrství



Disertační práce

Využití elektromobilů v silniční nákladní dopravě

Michal Husinec

© 2023 ČZU v Praze

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval svému školiteli doc. Ing. Tomášovi Šubrtovi, Ph.D. za jeho vedení při zpracování disertační práce. Současně děkuji panu prof. RNDr. Jaroslavu Havlíčkovi, CSc. za zpracování katedrového posudku a cenné rady pro zlepšení mé práce. A paní prof. RNDr. Heleně Brožové, CSc. za cenné rady k tématu. Děkuji i všem kolegyním a kolegům z katedry systémového inženýrství za podporu a spolupráci v průběhu celého mého doktorského studia.

Využití elektromobilů v silniční nákladní dopravě

Abstrakt

Nákladní doprava a distribuce zboží je jedním z faktorů rozvoje regionu, a i přes negativní vliv na životní prostředí je její dopad na rozvoj regionu klíčový. Tato práce identifikuje výzvy současné distribuční logistiky spojené s častým doručováním menších zásilek na stejná místa, což vede ke zvýšeným nákladům a neefektivitě. Zaměřuje se na možné využití vozidel s alternativním pohonem, zejména elektrických vozidel, a řeší otázky spojené s lokalizací nabíjecích stanic v logistických parcích a v oblastech s vyšší koncentrací nákladní dopravy. Zároveň řeší otázku možného využití dopravních okružních modelů pro tyto vozidla. Možné využití elektrických vozidel v distribuční logistice je spojeno se značnou nejistotou v oblasti efektivity a provozních nákladů. Mezi hlavní problémy patří omezená nebo chybějící infrastruktura nabíjecích stanic, speciálně navržených pro nákladní dopravu, což vyžaduje vybudování komplexní infrastruktury pro elektrická nákladní vozidla s cílem minimalizovat dopady výstavby nových nabíjecích stanic na životní prostředí. Tato práce představuje možné matematické metody použitelné pro lokalizaci dobíjecích stanic v České republice, ideálně v rámci jednotlivých okresů. Aplikace matematických modelů má za cíl optimalizovat využití zdrojů, zmírnit dopady na životní prostředí spojené s výstavbou nových nabíjecích stanic a prozkoumat navržená místa z hlediska udržitelnosti a možnosti dalšího rozvoje. Výsledkem práce je navržení možného umístění nabíjecích stanic s ohledem na již stávající infrastrukturu logistických parků, která je doplněna o nová místa splňující podmínky umístění. Výběr místa nabíjecí stanice je stěžejní pro udržitelný rozvoj nákladní dopravy a vyžaduje analýzu různých kritérií.

V rámci teoretických východisek jsou podrobněji rozebrány oblasti distribuční logistiky, dopravních okružních modelů, lokalizace a umístění objektů, legislativních omezení, systémových přístupů a myšlení a aplikace metod vícekritériálního rozhodování.

Klíčová slova: distribuční logistika, EOQ, kritéria, lokalizace objektů, nákladní doprava, tranzitní čas, trasa.

The use of electric vehicles in road freight transport

Summary

Freight transport and distribution of goods is one of the factors of the region's development and despite its negative impact on the environment, its impact on the region's development is crucial. This paper identifies the challenges of current distribution logistics associated with frequent delivery of smaller shipments to the same locations, leading to increased costs and inefficiencies. It focuses on the potential use of alternative fuel vehicles, particularly electric vehicles, and addresses issues related to the location of charging stations in logistics parks and in areas with higher concentrations of freight traffic. It also addresses the possible use of traffic circle models for these vehicles. The potential use of electric vehicles in distribution logistics is associated with considerable uncertainty in terms of efficiency and operating costs. The main challenges include the limited or missing infrastructure of charging stations specifically designed for freight transport, which requires the construction of a comprehensive infrastructure for electric trucks to minimise the environmental impacts of building new charging stations. This paper presents possible mathematical methods applicable for locating charging stations in the Czech Republic, ideally within individual districts. The application of the mathematical models aims to optimise resource use, mitigate the environmental impacts associated with the construction of new charging stations, and examine the proposed locations in terms of sustainability and the potential for further development. As a result of the work, possible locations of charging stations are proposed with respect to the already existing infrastructure of logistics parks, which is complemented by new sites that meet the location conditions. The selection of charging station locations is central to the sustainable development of freight transport and requires the analysis of various criteria.

Within the theoretical background, the areas of distribution logistics, traffic circle models, siting and location of facilities, legislative constraints, systems approaches and thinking, and the application of multi-criteria decision-making methods are discussed in detail.

Keywords: distribution logistics, EOQ, criteria, location of objects, freight transport, transit time, route.

Obsah

1	Úvod.....	7
2	Cíle a metodika	11
2.1	Cíl práce	11
2.2	Metodika	12
2.3	Parametry modelu pro nabíjecí stanice	13
2.4	Parametry pro testovací dopravní okružní problém.....	14
3	Teoretická východiska	15
3.1	Teorie dopravních systémů	15
3.1.1	Samoregulační principy dopravních systémů	18
3.1.2	Distribuční úlohy	19
3.1.3	Rozvozní dopravní úloha	24
3.1.4	Kapacitně omezený rozvozní plán pro vozidla s alternativním pohonem	25
3.1.5	Mayerova Metoda	28
3.1.6	Clarkeova-Wrightova Metoda	29
3.2	Distribuční logistika.....	31
3.2.1	Funkce distribuční logistiky.....	33
3.2.2	Struktura distribuční logistiky	34
3.2.3	Prvky distribuční logistiky	38
3.2.4	Cíle distribuční logistiky	39
3.2.5	Optimalizace distribuční logistiky	40
3.2.6	Rizika distribuční logistiky	47
3.2.7	Legislativní omezení distribuční logistiky.....	50
3.2.8	Efektivní distribuční plán.....	50
3.3	Zelená logistika.....	52
3.4	Stávající postupy pro volbu umístění nabíjecích stanic pro nákladní dopravu....	56
3.5	Lokační modely	58
3.5.1	Lokalizace jednoho objektu – vzdálenost po osách.....	59
3.5.2	Lokalizace jednoho objektu – vzdálenost kvadratická	59
3.5.3	Lokalizace více objektů – vzdálenost po osách	60
3.5.4	Lokalizace více objektů – vzdálenost kvadratická	60
3.5.5	Weiszfeldův algoritmus	61
3.5.6	Diskrétní lokační problém	62
3.5.7	Model umístění nabíjecích stanic s ohledem na dojezd elektromobilu	62
3.6	Metoda analytického síťového procesu (ANP).....	65
4	Lokace nabíjecích stanic pro nákladní vozidla	66
4.1.1	Kritéria pro umístění nabíjecích stanic	67
4.1.2	Preference kritérií pro umístění nabíjecích stanic.....	71
4.2	Analýza a formulace problému umístění nabíjecích stanic	73
4.2.1	Parametry modelu	74
4.2.2	Lokace nabíjecí stanice s využitím logistických center.....	76
4.2.3	Lokace nabíjecí stanice bez využití logistických center	89
4.3	Vyhodnocení modelů umístění nabíjecích stanic	94
4.4	Verifikace umístění nabíjecích stanic pomocí dopravního okružního problému	97
4.4.1	Použitý model okružního problému.....	98

4.4.2	Postup řešení okružního problému	99
4.4.3	Modifikovaný model Mayerovy metody	100
4.4.4	Aplikace modelu dopravního okružního problému	101
4.4.5	Aplikace modelu se zahrnutím nabíjecích stanic.....	103
4.4.6	Vyhodnocení lokace nabíjecích stanic.....	106
5	Diskuze	107
6	Závěr	110
	Seznam použité literatury	112
	Seznam použitých zkratk	124
	Seznam Obrázků	126
	Seznam Tabulek.....	127
	Seznam Příloh.....	127

1 Úvod

Jedním z hlavních cílů distribuční logistiky je doručit zboží v požadovaném termínu a požadované kvalitě s ohledem na maximální využití vozidel a s možným snížením negativního dopadu na životní prostředí. S rozvojem pohonů v oblasti alternativních zdrojů pro osobní vozidla zejména v oblasti využití elektrické energie lze uvažovat o možném využití i v nákladní dopravě právě pro oblast distribuční logistiky a městské (city) logistiky. Možná dopravní omezení a nízkoemisní zóny jsou jedním z omezujících faktorů pro vozidla využívající konvenční paliva. S ohledem na možnosti rozšíření nákladních vozidel o alternativní typy pohonu lze uvažovat o nové nebo upravené metodice nákladní distribuční sítě, která bude zahrnovat omezující podmínky týkající se vozidel třeba s elektropohonem. Existuje mnoho okružních modelů a lokačních modelů, které bychom mohli modifikovat pro výše zmíněná vozidla nebo bychom mohli využít víceúrovňový distribuční model, který v sobě kombinuje více možností optimalizací (Cattaruzza a kol., 2017), v důsledku toho lze identifikovat hlavní problémy které bude nutné nejprve analyzovat a následně vyřešit.

Cílem městských oblastí je celkové snížení škodlivých emisí a hluku, které je způsobeno současnými nákladními vozidly a omezenou propustností tras v důsledku nárůstu distribuční dopravy, která může negativně ovlivnit kapacitu baterií u vozidel s alternativním pohonem. Musíme tedy počítat i s variabilními časy doručení s ohledem na možné omezení trasy (Mancini, 2017). Jedním ze základních požadavků městských oblastí je právě pravidelné zásobování při využití stávající dopravní infrastruktury. Tato omezení vedou logistické společnosti k zamyšlení, zda lze efektivně využít vozidla s alternativním pohonem nebo vozidla využívají elektrické palivové články. Hlavním předpokladem zvýšení efektivity je nejenom ideální trasa vozidla ale svým způsobem i chování odběratele, který může ovlivnit skladbu objednávky zvýšit efektivitu vozidla. Dnešní doba umožňuje variabilní možnosti doručení zboží a odběratel může udržovat minimální zásoby, která zpravidla doplní během 24 hodin od objednání zboží. Až pravděpodobně výše investice do vozidel s alternativním pohonem pro distribuci přinese i možnou změnu v chování odběratele, protože vyšší pořizovací náklady budou muset dopravci promítnout do finální ceny za doručení zboží. Lze tedy uvažovat o možné změně v chování odběratele, protože vyšší náklady spojené s častějším doručením zboží budou kompenzovány v ceně produkty a spotřebitel může požadovat výrobek s nižší konečnou cenou. Abychom docílili lepšího chování spotřebitelů a tím docílili větší efektivity v nákladech na doručení, můžeme využít koncept EOQ

(Economic order quantity). Jeedná se o jeden z nejvíce diskutovaných modelů v produkční logistice (Khan a kol., 2011). Kde nejznámější adaptací vzorce je metoda EPQ (Economic Production Quantity), které zohledňuje denní poptávku výroby produktů. Další známou modifikací konceptu EOQ je „Japonská Produkce“ praktický přístup zaměřený na velikost objednávky a doby výroby nebo přípravy objednávky. (Hall, 1981; Schonberger, 1982; Shingo, 1988) zavedli zásady jako jsou Just-in-time (JIT).

Současnou metodiku lze využít i pro dopravní okružní modely k nalezení řešení založených na znalostech, které lze interpretovat prostřednictvím rozhraní systému pro podporu rozhodování, protože již obsahují podmínky pro vozidla využívající alternativní zdroje energií.

Jedním z hlavních důvodů pro zavádění elektromobility je její minimální dopad na životní prostředí (Behnke a Kirschstein, 2017). Oblast možného využití elektro vozidel je však omezena nedostatečnou nebo zcela chybějící infrastrukturou nabíjecích stanic pro nákladní vozidla a časem potřebným pro nabíjení baterií. Výhodou je možnost využití energetické sítě v nočních hodinách, kdy převis výroby energie by mohlo kompenzovat dobíjení vozidel (Montoya a kol., 2017). Noční dobíjení pomáhá vyrovnávat napětí v energetické síti spotřebou přebytků z výroby. Současně s rozvojem elektromobilů bychom měli pracovat i s myšlenkou inteligentní energetické sítě, která by mohla v budoucnu pro tato vozidla zajišťovat energii (Huang, Kanaroglou a Zhang, 2016). Zlepšení efektivity dobíjení vozu souvisí se zvyšováním účinnosti sítě, tímto lze dosáhnout výrazně nižší spotřeby energie a nižší emise uhlíkových plynů z výroby energie.

Mezi hlavní omezující podmínky lze zařadit dojezd vozidla na akumulátory. Výrobci udávají pro vozidla o celkové hmotnosti nad 3,5 t dojezd okolo 200 km (Electric mobility-Daimler Global Media Site, 2017). Dojezd vozidla se může měnit v souvislosti s naloženou kapacitou a klimatickými podmínkami. Na základě dlouhodobých testů společnosti Mercedes-Benz je dojezd v městské logistice dostačující (E-Canter, 2017). Co ale v případě, pokud musí vozidlo dojet mimo tento rádius a potřebujeme, aby se vrátilo do centrálního depa. Nebo pokud v důsledku přetížené kapacity infrastruktury bude vozidlo popojíždět v koloně. Musí tedy vozidlo vyhledat dobíjecí stanici a dobít akumulátor. Společnost FUSO, dceřiná společnost Mercedes-Benz u svého produktu E-Canter uvádí nabití akumulátorů na 80 % za jednu hodinu při využití stejnosměrného proudu (E-Canter, 2017). Ideální dobíjení vozidel je pomocí konektoru CCS typ 2 (EU kompatibilní). Tento konektor umožní nabíjet

akumulátor dobíjecím proudem až 200A (Association for electromobility of the Czech Republic, 2021). V roce 2021 bylo podle Asociace pro elektromobilitu v České republice 43 dobíjecích stanic s možností připojení tohoto konektoru. Bohužel ale tyto stanice jsou použitelné pouze pro dobíjení osobních vozidel i vzhledem k jejich umístění v centrech měst. Celkově lze tedy konstatovat, že síť dobíjecích stanic pro nákladní vozidla je nedostatečná. Jedná se o velmi komplikovaný problém a je často řešen s využitím systémové analýzy a modelování k určení míst nabíjecích stanic a k optimalizaci lokací těchto dobíjecích stanic. Součástí rozhodování o jejich umístění by mělo být stanovení kritérií, podle kterých budeme posuzovat ideální lokaci. Jedním z hodnotících kritérií by mělo být i umístění v blízkosti logistických parků. V tomto kontextu se pro optimalizaci nabíjecích stanic pro osobní automobily objevují hybridní algoritmy založené na genetickém algoritmu a konvenčním algoritmu PSO (Particle Swarm Optimatization) (Awasthi a kol., 2017). Navržená metoda GAIPSO zvýšila provozní funkčnost algoritmu PSO a představila novou optimální strategii pro umístění nabíjecích stanic. Algoritmus je založený na zdokonalené optimalizaci jednotlivých částí algoritmu. Pro danou cílovou funkci „GA“, která se používá k vytvoření optimální velikosti populace s možností umístění nabíjecí stanice pro každou velikost populace, a která je poté předána do „PSO“, odtud název IPSO. Následná duální optimalizace přináší kvalitnější výsledky v menším počtu iterací ve srovnání se systémem GA a IPSO (GAIPSO). Navržený algoritmus splnil požadovaná kritéria pro minimální počet nabíjecích stanic a optimální energetický profil v energetické síti. Problematika umístění závisí na složitosti logistické sítě, která bude víceúrovňová (nepřímý vztah: dodavatelé – mezilehlé body – příjemci). Problém s lokalizací objektů je multikriteriální optimalizační problém, který závisí na kvantitativních a kvalitativních kritériích (Jacyna-Gołda a Izdebski, 2017). Množství kritérií zdůrazňuje složitost problému vyplývajícího z možného umístění dobíjecích stanic, pro které lze využít vícekriteriální rozhodovací metody při výběru kompromisního řešení. Pro efektivní využití zdrojů a zmírnění dopadů na životní prostředí v oblasti výstavby nových nabíjecích stanic je možné například využít model ANP, který umožňuje pracovat se složitými vztahy mezi kritérii. Současně lze v oblasti umístění dobíjecích stanic využít diferenční strategie pro umístění logistických objektů a zároveň zajistit přiměřenost zdrojů (Guoqi a kol., 2017). Protože nabíjecí stanice musí být v určité vzdálenosti od centrálního nebo distribučního skladu, musí vybraný lokační model respektovat dojezdové vzdálenosti stávajících vozidel využívajících energie alternativních

paliv. Úloha výběru místa pro nabíjecí stanice je důležitá i z hlediska rozhodovacích metod, protože nedostatky a použití stávajících metod mohou vést k nepřesným výsledkům rozhodnutí (Wu a kol., 2016).

V této práci je navržen nový postup pro nejvhodnější lokaci nabíjecích stanic založený na systémovém přístupu a modelech operačního výzkumu.

2 Cíle a metodika

2.1 Cíl práce

Disertační práce se zaměřuje na využití modelů pro lokalizaci objektů, využití konceptu EOQ a využití modelů dopravních okružních problémů.

Hlavním cílem této práce je navrhnout modelové řešení problému lokalizace nabíjecích stanic pro nákladní vozidla a rozšíření modelu dopravního okružního problému o omezující podmínky týkající se kapacity baterií a navrženého umístění nabíjecích stanic.

Dílčí cíle práce:

1. Definice parametrů modelu na základě požadavků elektromobilů

Využívané optimalizační algoritmy musíme doplnit o omezující podmínky, které klasické konvenční automobily nepotřebují. Jedna z takových omezujících podmínek souvisí s časem dobíjení akumulátorů. Zde bychom měli uvažovat o i možném nelineárním nabíjení akumulátorů, tedy nelze definovat přesný čas nabíjení s ohledem na možnost dobít vozidlo pouze pro kapacitu k nutnému dojezdu do výchozího depa. Dalším omezením bude kapacita baterií v závislosti na dojezdu a celkové nosnosti vozidla. Model následně doplníme o omezení pro klasická vozidla, kapacitu vozidla z hlediska využití (hmotnost, plochu), limitní časy (nakládka, čas strávený v lokalitě, celkový čas strávený mimo lokalitu), rychlost vozidla v síti. Pro konkrétní aplikaci zvolíme variantu optimalizačního modelu s **klíčovou proměnnou hmotnost**.

2. Nalezení míst pro nové dobíjecí stanice

Model bude aplikován na reálných datech dojezdové vzdálenosti jednotlivých obcí České republiky (ČR) k nejbližší lokaci nabíjecí stanice. Jednotlivé okresy v rámci ČR budou podrobeny nalezení optimálního bodu na základě definovaných preferencí. V oblasti nabíjecích stanic nebudou zohledněna stávající kapacitní řešení energetické sítě ale pouze možné využití lokace z hlediska umístění stávajících logistických parků. Následná mapa nalezených lokací může být využita pro investora výstavby dobíjecích stanic.

2.2 Metodika

Metodika disertační práce je rozdělena do tří částí, které na sebe postupně navazují a které definují dosažení celkového cíle.

1. Zhodnotit současný stav poznání v oblasti dopravních okružních problémů a lokačních problémů

Prostudováním odborné literatury z oblasti stávajících dopravních okružních modelů a lokačních problémů bude vytvořen literární přehled, citování zdrojů bude převážně z odborných a vědeckých článků a knih. V oblasti stávajících metod pro řešení dopravních okružních modelů lze nalézt mnoho algoritmů, které mohou být vhodné po doplnění nových omezujících podmínek k vytvoření modelů.

2. Modifikace stávajícího nebo vytvoření nového postupu řešení pro potřeby výzkumu

Na základě zhodnocení současného stavu bude zvoleno vhodné řešení problému, který bude doplněn o nové omezující podmínky a vyhodnocen z hlediska optimální hodnoty funkce. Podle zvolené formulace modelu budeme zkoumat, zda lze využít genetický algoritmus. Nicméně s ohledem na implementaci do existujícího optimalizačního softwaru bude nutné ověřit složitost vybrané metody vzhledem k výpočetním možnostem softwaru. Na základě využití řešeného problému, tedy minimalizace nákladů (přejezdových časů, ujeté vzdálenosti) bude aplikován model s minimalizací počtu nabíjecích stanic.

3. Testování zvolených řešení

Navržená metodika bude dalších krocích ověřena na reálných datech. Postup řešení a výsledky řešeného problému (nové lokace nabíjecích stanic) budou testovány pomocí dopravního okružního modelu.

2.3 Parametry modelu pro nabíjecí stanice

- Preference kritérií bude částečně navržena dle principu SMART a upřesněna dle metody ANP. Cílem je obecné vyjádření preferencí dílčích cílů, které definují, jak by měla vypadat lokace výsledné nabíjecí stanice.
- Simulací podmínek, které mohou nastat na trase s ohledem na kapacitu baterií, bylo stanoveno, že nabíjecí stanice musí být v dosahu max 66 km od každé obce (města). Parametr je navržen s ohledem na zhoršené klimatické a dopravní podmínky s maximálním dojezdem 132 km při plném nabití akumulátorů
- Umístění nových lokací nabíjecích stanic bude vybíráno takto:
 - **Umístění v blízkosti plánu výstavby ŘSD** zajistí přístupnost nabíjecích stanic pro dopravní společnosti zejména v oblastech s vysokou intenzitou dopravy a může podporovat rozvoj infrastruktury pro nákladní elektromobily na klíčových dopravních koridorech.
 - **Umístění do stávajících kapacitních parkovacích ploch pro nákladní dopravu** umožní nabíjení nákladních elektromobilů v místech, kde dochází k odpočinku řidičů a je tedy možné nabíjet během této doby.
 - **Umístění do průmyslových objektů** zajistí dostupnost a možnost nabíjení při vykládkách a nakládkách čímž se sníží možné prostoje vozidla související s nabíjením baterií.
 - **Umístění ke stávajícím čerpacím stanicím** zvyšuje dostupnost nabíjecí infrastruktury v blízkosti tradičních čerpacích stanic pro společné využívání stávající infrastruktury.
 - **Umístění v obci (městě)** může představovat efektivní a udržitelné řešení nákladní dopravy a současně může zvyšovat dostupnost pro místní obyvatele a firmy.
 - **Minimalizace umístění na „zelené louce“** podporuje udržitelný rozvoj elektromobility bez zbytečného narušování přírodních lokalit.
- Geografická vstupní data modelu jsou odvozena od:
 - Obce v České republice (6254 obcí, měst a městských částí),
 - Okresy v ČR (76 okresů a 15 obvodů Prahy),
 - Logistické a skladovací parky (294),
 - Plán výstavby ŘSD pro Českou republiku.

2.4 Parametry pro testovací dopravní okružní problém

Okružní dopravní model bude založen na podmínce umístění první doručovací adresy na základě maximální váhy a pak bude výpočet pokračovat dle nejbližší vzdálenosti. Část omezujících podmínek je převzata z diplomové práce (Husinec, 2015)

- Jednotlivé parametry modelu a omezující podmínky
 - Kapacitní omezující podmínka s ohledem na nosnost vozidla,
 - Čas potřebný pro nakládku jednoho elementu (t_1),
 - Čas potřebný k vykládce jednoho elementu (t_2),
 - Maximální doba řízení vozidla (legislativní omezení) (t_3),
 - Maximální doba pohybu elementu mimo výchozí uzel (legislativní omezení) (T),
 - Průměrná rychlost vozidla v síti v Km/h (C),
 - Celkový počet naložených elementů – paletové místo (q),
 - Jednotlivé elementy jsou odeslány z výchozího uzlu daného atrakčního obvodu,
 - Ve výpočtu bude adresa vždy pouze jednou,
 - Distribuční trasy zajistí požadavky všech adres pro doručení,
 - Není stanovena minimální hranice týkající se hmotnosti pro jednotlivé elementy,
 - Vytíženost soupravy nebo kompletu bude maximální,
 - Počet naložených elementů naložených na vozidle je omezen s ohledem na maximální využití vozidla.
- Pro výpočet průměrné rychlosti použijeme:
 - Čas potřebný k překonání vzdálenosti (min),
 - Vzdálenost mezi jednotlivými uzly (Km),
 - Průměrná rychlost (Km/h),

3 Teoretická východiska

Literární přehled obsahuje teoretická východiska stávajících řešených problémů a legislativní omezení na nichž je postaven vlastní výzkum. Práce jiných autorů, ze kterých je čerpáno, se týkají zejména hledání vhodných algoritmů modelů dopravních okružních systémů a lokalizačních modelů s ohledem na stávající distribuční systémy. Které bychom mohli využít pro vozidla s alternativním pohonem. Dále se literární přehled se zaměřuje na definici optimálního objednávaného množství, distribuční logistiku, umístění dopravních uzlů a kapacitu v distribuční síti a s tím související legislativní omezení. Abychom mohli definovat ideální model je nutné nejprve efektivně naložit vozidlo, aby nedocházelo ke ztrátám. Největší prostor je věnován problematice optimalizací dopravních okružních problémů a lokačních modelů.

3.1 Teorie dopravních systémů

Základním předmětem zkoumání teorie dopravních systémů je zkoumání zákonitostí pohybu v definovaném prostředí (Steenbrink, 1974). Prostředí pohybu je definováno množinou uzlů (míst) a hran (dopravních úseků), které spoluvytvářejí reálnou dopravní síť, kterou z hlediska potřeb zkoumání zobrazujeme vhodným modelem, a to grafem jistých vlastností. Na takto definované dopravní síti pak zkoumáme základní úlohy teorie dopravních systémů (Steenbrink, 1974):

- pohyb nehmotného bodu po dopravní síti.
- pohyb množiny nehmotných bodů po dopravní síti.
- pohyb množiny nehmotných bodů v neuspořádaném prostředí.
- procesy sdružování nehmotných bodů do dopravních jednotek a řízení jejich pohybu po dopravní síti.

Efekty tohoto zkoumání se odráží ve dvou rovinách. V oblasti technologické reality zejména v úlohách (Steenbrink, 1974):

- Úpravy sítí a optimální hierarchizace dopravních sítí s ohledem na potřeby dané rozlišovací úrovně.

- Stanovení propustnosti sítí a jejich segmentů.
- Optimální lokace styku dvou nebo více homogenních dopravních sítí pro vytvoření sítě heterogenní.

V oblasti ekonomické reality (Steenbrink, 1974):

- Optimální zatížení dopravních sítí.
- Stanovení optimálního toku v dopravních sítích a optimálního rozložení dopravních proudů v těchto sítích.
- Optimální lokace uzlů v úlohách technologické reality.
- Optimální strategie shromažďování nehmotných bodů do dopravních jednotek.

Dopravní systém je vždy specifikován podsystémy, jako je dopravní síť a dopravní prostředek pohybující se v síti.

Předmětem zkoumaná teorie dopravních systémů tedy nutně musí být tři okruhy lidské činnosti, a to (Steenbrink, 1974):

- Zkoumaná vlastního způsobu přemísťování, tedy technologická realita dopravního procesu.
- Zkoumání technických prostředků, jejichž prostřednictvím se proces přemísťování uskutečňuje.
- Zkoumání efektů přemístění v socioekonomickém systému.

Z uvedeného je patrné, že teorie dopravních systémů je interdisciplinární teorií, která (Pastor, Tuzar, 2007, str. 20.):

- Zkoumá specifické děje zejména dynamického charakteru, k čemuž využívá exaktních metod, které jsou v teorii poznání klasifikovatelné v oblastech věd přírodních, zvláště matematických.
- Implikuje poznání věd technických do zkoumání technických prostředků pro uskutečňování procesu přemístění.
- Zkoumá efekty přemístění v socio-ekonomickém systému, k nimž vedle obecné makro i mikroekonomické teorie využívá specifické teorie, jako je zejména teorie kvality přemístění (přepravy), logistika jako vědní disciplína komplexně pojímající teorii oběhových procesů, ekonomiky nekomerčních jevů.

Seznam základních pojmů dopravních systémů (Černý a Kluvánek, 1991)

- Dopravní element je objekt přemístění, který se v průběhu dopravního procesu na nejnižší rozlišovací úrovni nedělí na menší části.
- Dávka je soubor několika elementů, které se v určité fázi dopravního procesu pohybují společně.
- Souprava je dávka vytvořená podle určitých pravidel, tak že po doplnění přesně určenými objekty vytvoří komplet.
- Komplet je objekt schopný samostatného pohybu v procesu dopravy.
- Náležitosti jsou objekty, kterými je třeba doplnit soupravu, aby spolu s nimi vytvořila komplet.
- Uzel je místo, ve kterém nastává alespoň jedna z těchto možností.
 - Elementy vstupují do systému,
 - Elementy vystupují ze systému,
 - Elementy se shromažďují,
 - Tvoří nebo ruší komplety nebo je s nimi manipulováno.
- Hrana (dopravní úsek) je orientovaná spojnice dvou uzlů, po níž se dopravují komplety.
- Propustnost úseku je maximální počet kompletů, které mohou za časovou jednotku projít od začátku uzlu dovnitř úseku.
- Dopravní síť je konečná množina uzlů a úseků, které tyto uzly spojují, přitom každý úsek má danou propustnost a délku.
- Trasa je posloupnost uzlů a na sebe navazujících úseků mezi těmito uzly.
- Trať je trasa, jejíž uzly jsou po dvou různé.
- Relace je upořádaná dvojice uzlů, přičemž z prvního do druhého uzlu se dopravují neporušené komplety.
- Atribut je vlastnost některého dopravního systému.
- Adresa je atribut dopravního elementu, který označuje jméno dopravního uzlu.
- Zdroj nějaké množiny elementů je uzel, ve kterém element vstupuje do dopravní sítě, jeho doprava zde začíná.
- Cíl/ústí nějaké množiny elementů je uzel, ve kterém element vystupuje z dopravní sítě, jeho doprava po této síti zde končí.

- Poloha elementu v čase t je uzel nebo úsek, ve kterém se element v tomto časové okamžiku nachází.
- Středisko je z daného hlediska významný uzel v dopravní síti se specifickým posláním.
- Atrakční obvod střediska je právě ta část dopravní sítě, ve které toto středisko plní své specifické poslání.
- Dopravní spojení je postupné přemístění kompletu po některé trase mezi dvěma uzly.
- Zásobník je objekt, patřící obvykle k uzlu nebo úseku, který slouží pro uskladnění a pobyt elementů nebo náležitostí.
- Akumulace je proces shromažďování elementů za účele vytvoření soupravy.
- Dopravní proud je proces přemísťování posloupnosti kompletů v některé části dopravní sítě.

Z hlediska metodologie uvažujeme řešení dvou problémů formulovaných v dopravních systémech (Tute, 1984).

- Deskriptivní, kdy se snažíme určit charakteristiky popisující vlastní dopravní proces. Znalost těchto charakteristik nám umožňuje posoudit potřebu změny současného stavu.
- Optimalizační, kdy volíme předem parametry dopravního procesu, tak abychom dosáhli optima.

3.1.1 Samoregulační principy dopravních systémů

Aby bylo možné dosahovat synergického efektu celého logistického systému, není možné dopravu využívat pouze jako intenzifikačního nebo iniciačního prostředku bez toho, aby sama doprava byla ve svých nákladech optimalizována. V zásadě je cílem optimalizačních metod a postupů na základě zvoleného kritéria minimalizovat náklady při zachování všech funkcí dopravního systému. Z exaktních vědních oborů jsou využitelné především metody popisované v operačním výzkumu, zejména (Svoboda, 2004):

- Metody teorie grafů, zejména metody optimální cesty a řešení kapacity sítí.
- Metody řešení lineárního optimalizačního modelu a distribučních modelů, zejména pro minimalizaci dopravních nákladů.

- Teorie front, zejména ve vztahu k řešení náhodných jevů při obsluze na dopravních sítích.
- Vícekriteriální analýzy variant, především při řešení rozložení dopravního proudu na dopravní síti.

Pro řešení logistických problémů je třeba definovat minimálně tři kritéria (Svoboda, 2004):

- Propustnost prvků dopravní sítě, kterými dopravní proud prochází, i dopravní síť jako celku.
- Náklady na přemístění dopravního proudu jednotlivými prvky dopravní sítě (pravděpodobně prvek nejnáročnější).
- Limitující čas pro přemístění dopravního proudu, neboť se v minulosti stalo, že se podařilo najít optimum nákladové, ale přepravované zboží bylo dodáno po stanoveném termínu.

Dosavadní přístupy k řešení problémů vycházely z předpokladu náhodných jevů, že totiž do úzkého hrdla dopravní sítě vstupují dopravní jednotky s náhodně definovanými veličinami (Svoboda, 2004)

- intervalem vstupu;
- dobou průchodu dopravní jednotky úzkým místem dopravní sítě.

Tyto veličiny lze na základě statistických metod definovat jako parametry náhodných proměnných, tj. střední hodnotou a dispersí, včetně definovaného rozdělení hustoty pravděpodobností (Svoboda, 2004).

3.1.2 Distribuční úlohy

Dopravní úlohy stejně tak i distribuční úlohy lze zařadit mezi metody lineárního programování. Využití klasického simplexového algoritmu pro řešení distribučních úloh se však jeví jako zdlouhavé, pracné a často nerealizovatelné, právě s ohledem na množství proměnných a omezujících podmínek daného modelu. Proto je používán specifický algoritmus, který ke svému řešení nevyužívá simplexovou metodu. Úlohy tohoto charakteru jsou využívány k optimálnímu přiřazení objektů k objektům jiným (výrobky, stroje, pracovníci – stroje, staveniště, funkce), k optimálnímu rozmístění objektů nebo ke stanovení

posloupnosti míst v okružní síti, uvádí (Mainzová a kol, 2001; Šubrt a kol, 2015) mezi distribuční úlohy zařazuje úlohy:

- jednostupňové,
- dvoustupňové,
- přiřazovací,
- zobecněné,
- okružní,
- trasovací a další.

Stále vyšší nároky a požadavky zákazníků na flexibilitu a reakci firem rozdělují dopravní úlohy na statické a dynamické (Fiala a kol, 2010). Statické úlohy jsou takové, u kterých jsou informace o zákaznících a jejich požadavcích známy předem. V praxi ale dochází neustále k navyšování požadavků na distribuci zboží, a proto je zapotřebí reagovat i na nově přichozí požadavky, které musejí být zahrnuty do distribučního plánu a je tedy nutné využít dynamického přístupu pro nalezení optimálního řešení.

Využití dynamického přístupu ale vede k nárůstu přepravních nákladů, které se mohou pohybovat od 5 % do 30 % z hodnoty zboží. Stále vyšší náklady na distribuci zboží vedou k nezbytnému využití dopravních úloh a jejich následnou optimalizaci pro snížení nákladů pro nalezení nejvhodnějšího řešení. Optimální řešení zahrnují minimalizaci přejezdových vzdáleností ale i snížení negativního vlivu nákladní dopravy (Gros, 2015).

Velmi často využívané jsou jednookruhové okružní dopravní problémy (TSP – Traveling Salesman Problem), označované také jako okružní dopravní problém nebo problém obchodního cestujícího. Hlavní využití je k naplánování trasy rozvozu určitého materiálu. Cílem je tedy nalézt takovou posloupnost míst, kde se každé z nich bude nacházet právě jednou, pro minimální náklady okruhu. Jednookruhový okružní dopravní problém je nejjednodušší okružní úlohou. Mezi další okružní dopravní úlohy se řadí například více okruhový okružní dopravní problém (Šubrt a kol. 2015). Okružní dopravní problémy lze rozdělit na dva typy podle charakteru cestní sítě, uvádí (Získal a kol., 2000). V problému s úplnou sítí cest se vyskytuje spojení mezi dvěma libovolnými obsluhovanými místy. Opačně v problému s neúplnou sítí cest nelze realizovat přímé spojení každé dvojice míst v libovolném směru. Hlavní nevýhodou okružních dopravních systémů je, že neexistuje obecný algoritmus s k nalezení matematického optima pro libovolně velký počet obsluhovaných míst, protože počet omezujících podmínek roste exponenciálně s počtem

obsluhovaných míst. Proto se často využívají aproximační metody, např. Metoda nejbližšího souseda nebo Vogelova aproximační metoda (Šubrt a kol, 2015). Menší problémy lze formulovat jako optimalizační model.

Účelová funkce modelu:

$$z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \text{MIN} \quad (1)$$

Za podmínek

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$u_i - u_j + nx_{ij} \leq n - 1, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n; i \neq j \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0; 1\}, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n; \quad (5)$$

Kde:

- n je počet míst, měst, uzlů
- c_{ij} jsou cenové sazby – ohodnocení vzdáleností mezi místy i a j
- x_{ij} je binární proměnná ($x_{ij} = 1$, je-li trasa i - j použita, jinak $x_{ij} = 0$)
- u_i je pomocná proměnná vyjadřující pořadí místa v okruhu

Omezující podmínky modelu musejí zaručit možnost obsluhy každého místa a tzv. Tuckerovy podmínky (4) zabezpečují, aby jednotlivá místa nebyla objeta několika samostatnými okruhy.

Přípustné a nepřípustné řešení jednookruhového okružního dopravního problému je patrné z obrázku č. 1. Tabulka obsahuje místa, jež je nutné navštívit, ta jsou označena písmeny A1 – A5. Dále obsahuje binární proměnné mezi každou dvojicí A1 – A5.

Nabývá-li hodnota těchto proměnných hodnoty jedna, bude mezi místy uskutečněna přeprava. Přípustné řešení obsahuje právě jeden okruh obsahující všechna místa, viz levá část tabulky, kde cesta prochází místy A1 – A3 – A2 – A4 – A5 – A1. V případě nalezení několika dílčích vzájemně nezávislých okruhů, se jedná o nepřípustné řešení. Tímto příkladem je pravá část tabulky, kde cesta probíhá ve dvou okruzích místy A1 – A2 – A3 – A1 a A4 – A5 – A4. (Jablonský, 2002)

Obrázek 1 Přípustné a nepřípustné řešení TSP

	A1	A2	A3	A4	A5
A1			1		
A2				1	
A3		1			
A4					1
A5	1				

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		1			
A2			1		
A3	1				
A4					1
A5				1	

Zdroj: převzato Jablonský, 2002

Víceokruhový okružní dopravní problém (MTSP – Multiple Traveling Salesman Problem) je rozšířený algoritmus TSP, kdy je přiřazen určitý počet m (obchodníků) přiřazeno určitému počtu n (měst), kteří tato města musí navštívit, přičemž se vyžaduje minimalizace nákladů. Zároveň lze nalézt vztahy mezi problémem obchodního cestujícího (TSP), víceokruhovým okružním dopravním problémem (MTSP) a rozvozním problémem (VRP – Vehicle Routing problem). Problém MTSP je zobecněním problému TSP, který umožňuje využití více obchodníků. Pokud by v problému byl použit pouze jeden obchodník, jednalo by se o stejné problémy a všechny formulace a přístupy pro MTSP se stali platnými pro TSP. V praxi se navíc pro MTSP nachází lepší uplatnění díky možnosti rozšíření problému o celou řadu dalších omezení, například kapacitních, jak je tomu v problému VRP. Obecně lze říci, že MTSP je zmírněním problému VRP a pokud má vozidlo kapacitu ve VRP dostatečně velkou a není jeho kapacita omezena podmínkou, je MTSP a VRP stejným problémem. Všechny formulace a řešení pro MTSP a VRP jsou poté použitelné a validní (Bektas, 2006)

Víceokruhové okružní dopravní problémy se vyskytují v různých podobách se změnami kapacitních, časových ale i jiných omezeních. Z těchto důvodů je nutné realizovat přepravu více než jedním okruhem, tedy rozdělením do více okruhů. Mezi nejčastější omezení jsou právě kapacitní, kdy dané vozidlo není schopné rozvést všechny požadavky v jediném okruhu a termínovaná doručení zboží, respektující otevírací doby. Při předpokladu všech stejných vozidel se stejnou kapacitou nebo nižší, než je suma objemu požadavků je třeba naplánovat několik okruhů. Každý okruh je určen pro jedno vozidlo. Jejich začátek i konec se nachází v centrálním místě, celkový objem požadavků necentrálních míst, nesmí být větší než kapacita vozidla a všechna necentrální místa musí ležet na jednom okruhu. Cílem je tedy rozdělit jednotlivá místa do okruhů tak, aby každý okruh zahrnoval centrální místo a splňoval kapacitní omezení při minimálních nákladech (Šubrt a kol., 2015). Víceokruhový okružní dopravní problém lze rozdělit na (Fábry, 2006)

- úlohu s jedním výchozím místem
- úlohu s více výchozími místy

Formulace modelu je následující

$$z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \text{MIN} \quad (6)$$

Za podmínek

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, i = 2, 3, \dots, n \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1, i = 2, 3, \dots, n \quad (8)$$

$$\sum_{j=2}^n x_{1j} = K \quad (9)$$

$$\sum_{j=2}^n x_{i1} = K \quad (10)$$

$$u_i - u_j + p x_{ij} \leq p - 1 \quad (11)$$

$$x_{ij} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

$$x_{ij} \in \{0; 1\}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

Kde:

- n je počet míst, měst, uzlů, které musejí být navštíveny
- c_{ij} ohodnocení vzdáleností mezi místy i a j
- x_{ij} je binární proměnná ($x_{ij} = 1$, je-li trasa i - j použita, jinak $x_{ij} = 0$)
- K je počet vozidel, kapacitní omezení pro tvorbu okruhů
- u_i je pořadí navštíveného místa i
- p je maximální počet míst, které může vozidlo navštívit

Omezující podmínky musejí garantovat navštívení každého místa pouze jednou. Zároveň stanoví že počet vozidel K vyražející z výchozího místa se vrátí zpět do výchozího místa. Doplněné o podmínky předcházející vytváření smyček a podmínky zabráňující vytváření parciálních cyklů. Tedy že vozidlo může obsloužit maximálně počet p .

Pokud neznáme parametr p , je možné zamezit vytvářením parciálních cyklů použitím soustavy omezujících podmínek.

$$u_i - u_j + (n - K) x_{ij} \leq n - K - 1, i = 1, 2, \dots, n; j = 2, 3, \dots, n; i \neq j \quad (14)$$

Daná omezení vyžadují využití všech vozidel, pokud některá vozidla nelze využít musí být splněna podmínka trojúhelníkové nerovnosti

$$c_{is} - c_{sj} \geq c_{ij}, \quad i, j, s = 1, 2, \dots, n; i \neq j \neq s \quad (15)$$

3.1.3 Rozvozní dopravní úloha

Na stejném základu jako je dopravní okružní systém je vytvořen i rozvozní problém. Výhodou rozvozního problému je předem definované požadavky odběratelů a kapacity distribučních vozidel kapacita vozidel. Rozvozní úlohy lze dělit (Fábry, 2017) na:

- rozvozní úlohy s dělenou dodávkou,
- rozvozní úlohy s časovými okny,
- rozvozní úlohy s heterogenním vozovým parkem.

Výhoda heterogenní vozového parku je možnost efektivně přistupovat k rozvozovému plánu a maximálnímu vytížení vozidel (HFVRP – Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem) (Boldacci a kol, 2007). Jako další možné využití lze využít úlohu VRP s K typy vozidel ve výchozím depu s kapacitami V_k pro každý typ vozidla, počet vozidel p_k a nákladové koeficienty d_k (Fábry, 2017). Výsledné řešení zahrnuje všechny rozvozní požadavky při sestavení optimální rozvozní flotily při minimalizaci tras a nákladů.

Účelová funkce modelu

$$z = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_k c_{ij} x_{ij}^k \rightarrow \text{MIN} \quad (16)$$

Za předpokladu

$$\sum_{i=2}^n q_i \leq \sum_{k=1}^K p_k V_k \quad (17)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^n x_{ij}^k = 1, \quad i = 2, 3, \dots, n \quad (18)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij}^k = \sum_{i=1}^n x_{ji}^k, \quad j = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, K \quad (19)$$

$$\sum_{j=2}^n x_{1j}^k \leq p_k, \quad i = 1, 2, \dots, K \quad (20)$$

$$u_j + q_j - \bar{V}(1 - x_{ij}^k) \leq u_j, \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 2, 3, \dots, n; k = 1, 2, \dots, K \quad (21)$$

$$u_i \leq \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K x_{ij}^k V_k, \quad \forall i = 1, 2, \dots, n \quad (22)$$

$$u_1 = 0 \quad (23)$$

$$x_{ij}^k \in \{0, 1\}, \quad \forall i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, K \quad (24)$$

$$u_i \in \mathbb{R}_+, \quad \forall i = 2, 3, \dots, n \quad (25)$$

$$\bar{V} = \max_{k=1,2,\dots,K} V_k \quad (26)$$

Kde:

- n je počet míst, které musí být navštíveny, kde n_1 je centrální sklad,
- c_{ij} je ohodnocení přímého spojení z místa i do j ,
- x_{ij}^k binární proměnná (je-li spoj realizován $x_{ij}^k = 1$, jinak 0),
- K počet typů vozidel, které jsou k dispozici pro tvorbu okruhů,
- k každý jeden typ vozidla,
- p_k počet kusů vozidel typu k ,
- V_k kapacita vozidla typu k ,
- d_k nákladový koeficient odvozený od spotřeby vozidla,
- q_j požadavek j -tého zákazníka (poptávka uzlu),
- u_i, u_j je pomocná proměnná modelu zavedená pro bilanci nákladu vozidla.

Pro splnění správné funkce modelu musí být splněna podmínka, že celková suma požadavků musí být menší nebo rovna kapacitě vozidel, které jsou zahrnuty do algoritmu. Hodnota účelové funkce minimalizuje náklady s ohledem na ujetou vzdálenost a jednotkový náklad použitého vozidla. Při splnění podmínek, že každé místo může být navštíveno pouze jednou a každé k -té vozidlo, které vjede do místa j z něj i vyjede. Použité vozidlo nesmí překročit svoji kapacitu.

3.1.4 Kapacitně omezený rozvozní plán pro vozidla s alternativním pohonem

Otázka životního prostředí je dnes řešena ve většině průmyslových odvětvích, ve kterých má doprava vysoký podíl právě v oblasti celkové logistiky produktu. Proto je třeba minimalizovat tyto dopady, sledováním míry znečištění životního prostředí, hluku a zkoumáním vlivu konkrétních typů dopravních prostředků ve snaze snížit energetickou a materiálovou náročnost logistiky (Lin a kol, 2014). Aplikací omezujících podmínek pro

alternativní pohony do samostatného modelu VRP a následnou optimalizací tras s minimalizací celkově ujeté vzdálenosti lze snížit nežádoucí dopady na životní prostředí. Kapacitně omezený ekologický rozvozní problém (CGVRPH – Capacitated Green Vehicle Routing Problem) může být variantou VRP doplněnou o vozidla s alternativním pohonem a doplněnou o čerpací stanice s tímto pohonem (Normasari a kol., 2019). O následné optimalizaci modelu CGVPR lze uvažovat z pohledu minimalizace spotřeby paliva, například z pohledu časově závislého problému nebo v závislosti na zatížení vozidla (Normasari a kol., 2019). Model CGVRP může být tedy navržen, aby dokázal pokrýt všechny známe požadavky zákazníků při minimálních nákladech a minimalizací ujeté vzdálenosti. Model je zaměřen na určování tras vozidel na alternativní palivo a na maximální časové omezení. Bude vytvořeno maximálně m okruhů vozidly, kde každé vozidlo uskuteční jeden samostatný okruh a jeho počáteční a konečnou stanicí bude depo. Během okruhu navštíví množinu vrcholů zákazníků, případně mezi nimi podle potřeby čerpací stanici s alternativním palivem. Celková poptávka každé trasy nesmí překročit kapacitu vozidla a celkový čas strávený na trase nesmí překročit maximální délku trasy. Model GCVRP uvažuje o deterministickém a statickém problému. Předpokladem je konstantní rychlost jízdy a po návštěvě čerpací stanice naplnění nádrže vozidla na plnou kapacitu (Normasari a kol., 2019) Model je formulován následovně:

$$z = \sum_{i \in V', j \in V', i \neq j} d_{ij} x_{ij} \rightarrow \text{MIN} \quad (27)$$

Za předpokladu

$$\sum_{j \in V', i \neq j} x_{ij} = 1, i = I \quad (28)$$

$$\sum_{j \in V', i \neq j} x_{ij} \leq 1, i = F_0 \quad (29)$$

$$\sum_{j \in V', i \neq j} x_{ij} = \sum_{j \in V', j \neq i} x_{ij}, i \in V' \quad (30)$$

$$\sum_{j \in V' \setminus \{0\}} x_{0j} \leq m \quad (31)$$

$$t_j \geq t_j + (t_{ij} + p_j)x_{ij} - T_{\max}(1 - x_{ij}), i \in V', j \in V' \setminus \{0\}, i \neq j \quad (32)$$

$$0 \leq t_0 \leq T_{\max} \quad (33)$$

$$t_{0j} \leq t_j \leq T_{\max} - (t_{j0} + p_j), j \in V' \setminus \{0\} \quad (34)$$

$$y_j \leq y_i - rd_{ij}x_{ij} + 0(1 - x_{ij}), j \in 1, i \in V', i \neq j \quad (35)$$

$$y_i = Q, j \in F_0 \quad (36)$$

$$y_j \geq \min\{rd_{j0}r(d_{j1} + d_{10})\}, j \in I, i \in F' \quad (37)$$

$$u_j \leq u_i - q_i x_{ij} + C(1 - x_{ij}), j \in V', j \in V' \setminus \{0\}, i \neq j \quad (38)$$

$$0 \leq u_i \leq C, i \in V' \quad (39)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, i \in V', j \in V' \quad (40)$$

Kde:

- x_{ij} binární proměnná (existuje-li cesta z i do j $x_{ij} = 1$, jinak 0),
- d_{ij} délka této cesty,
- y_i stav paliva vozidla po návštěvě i -tého uzlu,
- u_i stav naložení vozidla v uzlu i ,
- t_j čas příjezdu do uzlu j .
- Q maximální kapacita paliva vozidla,
- r spotřeba paliva,
- T_{max} maximální čas trasy,
- t_{ij} doba jízdy z vrcholu i do j ,
- p_i doba služby u zákazníka, případně čas tankování,
- C maximální naložení vozidla,
- q_i požadavky zákazníků.
- v_0 je depot,
- n počet zákazníků i s depotem,
- s počet tankovacích stanic,
- m počet vozidel k dispozici,
- V množina všech uzlů $V = \{v_0\} \cup I \cup F = \{v_0, v_1, \dots, v_n + s\}$,
- V' množina všech uzlů s umělými proměnnými $V' = \{v_0\} \cup I \cup F'$,
- I množina všech zákazníků, $\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$,
- I_0 množina všech zákazníků + depot, $I_0 = \{v_0\} \cup I$,
- F množina všech čerpacích stanic $\{v_n + 1, v_n + 2, \dots, v_n + s\}$,
- F' množina umělých proměnných všech čerpacích stanic F ,
- F_0 množina umělých proměnných všech čerpacích stanic a depotu $F_0 = \{v_0\} \cup F'$.

Účelová funkce respektuje minimalizaci celkově ujeté vzdálenosti. Omezující podmínky zajišťují navštívení každého zákazníka pouze jednou a návštěvu čerpací stanice s alternativním pohonem pouze jednou a zároveň zajišťují, aby se dané vozidlo vrátilo do výchozího místa, tedy aby nezůstalo na trase. Současně omezující podmínky reflektují časové termíny požadavků a celkovou dobu strávenou vozidlem na trase. Doplněné o podmínky sledující spotřebu alternativního paliva tak aby se vozidlo mohlo bezpečně vrátit zpět do výchozího místa. A při zachování maximální kapacity vozidla a minimalizaci využití vozového parku. Poslední omezující podmínka zajišťuje binaritu proměnných.

3.1.5 Mayerova Metoda

Mayerovu metodu je možno popsat jako přibližnou metodu sestavení okružních jízd s kapacitním omezením. Tato metoda řešení je vhodná pro okružní problémy s úplnou sítí cest a s centrálním místem (Brožová a Houška, 2008).

Předpokladem metody je symetrická matice sazeb mezi místy zahrnutými do řešení. Jednotlivá místa jsou uspořádána podle sazeb tras mezi těmito místy a centrálním místem. Místo s nejvyšší sazbou této trasy je v matici uvedeno jako první, centrální místo jako poslední. Dále je potřeba znát kapacitní omezení jednotlivých okruhů, což může být například kapacita vozidel.

Řešení probíhá ve dvou krocích.

1. V prvním kroku se provede jsou rozdělena místa do jednotlivých okružních tras. Nejprve se zařadí místo s nejvyšší sazbou trasy k centrálnímu místu. K již vybraným místům se přiřazuje další tak, aby nebyla překročena kapacita okruhu a aby toto místo bylo nejbližší již zařazeným místům, tj. sazba trasy k některému již vybranému místu musí být nejmenší možná. Další místa jsou přidávána stejným postupem tak dlouho, dokud není překročena kapacita okruhu.
2. Ve druhém kroku probíhá *řazení míst v jednotlivých trasách*. Pro nalezení nejvhodnějších okruhů mohou být použity metody pro řešení jednookruhového problému.

Trasy však bývají obecně upravovány na základě intuitivního rozhodování a znalostí člověka. K tomu je nezbytné znát rozložení a vlastnosti cestní sítě. Zároveň je nutné uvažovat i o objemu přepravovaného materiálu jednotlivými úseky.

3.1.6 Clarkeova-Wrightova Metoda

Metoda uvažuje, že v každé interaci jsou podle jistého kritéria vybrány dvě možné trasy ($V_0-V_i-V_0$) a ($V_0-V_j-V_0$) a spojeny do jedné tzv. sdružené trasy ($V_0-V_i-V_j-V_0$) (Pastor a Tuzar, 2007, str. 145-146). Dvě trasy mohou být sdruženy jen tehdy, jestliže sdružená trasa bude vyhovovat podmínkám přípustnosti P1 a P2, což v našem případě znamená, že součet zátěže sdružovaných tras nesmí překročit kapacitu K . Snadno lze tedy kontrolovat i splnění jiných globálních podmínek. Výhodnost nebo nevýhodnost sdružení obou tras je určena úsporou, která jejich sdružením vznikne. Tuto úsporu měříme tzv. výhodnostním koeficientem Z_{ij} podle vztahu:

$$Z_{ij} = (d_{0i} + d_{0j} - d_{ij}) \quad (41)$$

kde Z_{ij} vyjadřuje rozdíl mezi součtem délek tras ($V_0-V_i-V_0$) a ($V_0-V_j-V_0$) a délkou sdružené trasy ($V_0-V_i-V_j-V_0$). Metoda sdruží v každé interaci postupu ty dva uzly, které vykazují nejvyšší výhodnostní koeficient Z_{ij} , pokud je možné s ohledem na přípustnost toto sdružení vytvořit. Výhodou tohoto postupu je, že koeficient Z_{ij} závisí pouze na vzájemných vzdálenostech uzlů V_i , V_j a V_0 a nemění se, pokud je možné tyto dva uzly spojit. Ve všeobecnosti nemusí být síť úplná, to znamená, že prvky matice D mohou vyjadřovat jak délky úseků, tak i vzdálenosti mezi jednotlivými uzly. Metodu můžeme zformulovat do několika kroků (Pastor a Tuzar, 2007, str. 145-146). Pro danou dopravní síť $S = (V, H)$ jsou potřeba následující údaje:

matici vzdáleností $D = \{d_{ij}\}$, kde $i, j, \dots, n; n = |V|$.

- C průměrná rychlost pohybu kompletu na síti (km/h)
- t_1 doba potřebná k naložení jednoho elementu z obsluhujícího kompletu (min.)
- t_2 doba potřebná k vyložení jednoho elementu z obsluhujícího kompletu (min.)
- T maximální doba pobytu kompletu mimo výchozí uzel V_0 (min.)
- K kapacita kompletu v kg
- q_{ij} jsou počty elementů, přepravovaných z uzlu V_0 do uzlu V_i (paletová místa)

1. Vytvoříme počáteční řešení, které představuje soubor elementárních tras ($V_0-V_i-V_0$) pro všechny uzly $i = 1, \dots, n$ s uvedeným množstvím elementů a dobami přepravy (doplnit lze také doby výstupů elementů z kompletu).

Obrázek 2 Výchozí řešení Clarkeova-Wrightovy metody

Trasa	Množství elementů	Doba přepravy
$V_0-V_1-V_0$	q_1	$\frac{2d_{01}}{c} + q_1 t$
...	...	...
$V_0-V_n-V_0$	q_n	$\frac{2d_{0n}}{c} + q_n t$

Zdroj 3-1 (Převzato Pastor a Tuzar, 2007)

2. Z matice D odvodíme matici výhodnostních koeficientů $Z = \{Z_{ij}\}$, kde $i, j = 1, \dots, n$, podle vztahu $Z_{ij} = d_{0i} + d_{0j} - d_{ij}$, kde Z_{ij} , vyjadřuje rozdíl mezi součtem délek tras $(V_0-V_i-V_0)$ a $(V_0-V_j-V_0)$ a délkou sdružené trasy $(V_0-V_i-V_j-V_0)$.
3. V matici Z najdeme největší kladný prvek Z_{ij} a zkontrolujeme, zda sdružená trasa $(V_0-V_i-V_j-V_0)$ je přípustná. Pokud přípustná trasa nevznikne, pak položíme $Z_{ij} = 0$ a přejdeme na krok (3), jinak krok (4).
4. Pokud takový prvek neexistuje, skončíme. Aktuální množina okružních tras je výsledkem algoritmu. V opačném případě přejdeme na krok (5).
5. Aktualizujeme množinu uzlů vyjmutím uzlů i a j , pokud sdružením tras přestaly být krajními uzly trasy. Položíme $Z_{ij} = 0$. Aktualizujeme množinu tras vyjmutím sdružených tras a vložení nové trasy. Současně aktualizujeme ostatní sledované parametry.
6. Pokud není matice Z vynulována anebo pokud není zřejmé, že kapacity kompletů jsou vyčerpány a další řešení nemá smysl, a přejdeme na krok (3)

Výsledné řešení této C-W metody není optimální, ale velice často bude suboptimální. Doporučuje se tento postup provést pro každý uzel v síti jako uzel V_0 .

3.2 Distribuční logistika

Asi nejvíce kritickou oblastí je právě distribuční logistika ke koncovému uživateli, tedy oblast, kdy dochází k předání finální služby příjemci, zde se plně projeví, zda celý logistický řetězec je funkční a poskytuje očekávanou kvalitu zákazníkům a zároveň si ověříme, zda je celý systém ekonomicky optimální a stabilní. Distribuční logistika je specifická činnost v logistickém řetězci, vedoucí k cílevědomému přemísťování věcí k uspokojování potřeb přemístění. Jde-li o distribuční logistiku, hovoříme o systému, který vykazuje specifické rysy (Svoboda, 2004):

- Předně plní potřeby přemístění v logistickém systému tak, aby byl v nákladové oblasti vytvářen synergický efekt; znamená to, že se doprava nechová jako ryze komerční činnost, ale jako činnost organicky včleněná do integrovaného systému.
- Za druhé sama sebe optimalizuje především vytvářením funkčních modelů obsluhy na základě využitelných exaktních a heuristických optimalizačních metod.

V oblasti řešení problému spojených s finálním doručením koncovým zákazníkům musíme rozlišovat tyto termíny: finální distribuce, distribuční systém, distribuční cesta, distribuční kanál, distribuční řetězec. V oblasti jednotlivých přístupů k distribuční logistice můžeme uvést jednotlivé definice vybraných autorů:

- Za distribuční logistiku lze považovat jakoukoliv řadu firem nebo jednotlivců, kteří se podílejí na toku zboží a služeb od výrobce k finálním uživatelům nebo spotřebitelům (McCarthy, Perreault, 1995).
- Distribuční logistika spojovací článek mezi výrobou a odbytovou částí podniku. Zahrnuje veškeré skladové a dopravní pohyby zboží k odběrateli (zákazníkovi) (Schulte, 1994).
- Distribuční kanál lze definovat jako souhrn organizačních jednotek, institucí či agentur uvnitř anebo vně daného výrobního podniku, které vykonávají funkce podporující marketing daného podniku (Cox, Schutte, 1969).
- Fyzická distribuce je proces, který, se zboží dostává od výrobce k zákazníkovi začíná ve výrobním závodě. Manažeři se snaží najít soubor velkoobchodů a přepravních cest, kterými by se vyrobené zboží dostalo na konečné místo určení v požadovaném čase a při nejmenších možných nákladech (Kotler, 2000).

- Distribuce jsou procesy rozdělování (eventuálně přidělování) a rozmísťování zboží od výrobce k odběrateli spolu s poskytováním příslušných služeb. Pro toky výrobků směrem ke konečným zákazníkům (spotřebitelům) se používá termín fyzická distribuce (Pernica, 2005).
- Fyzický distribuční kanál je pojem používaný pro popis metod a prostředků, pomocí nichž jsou výrobky nebo skupiny výrobků fyzicky dopravovány nebo distribuovány z místa výroby do místa, ve kterém jsou dostupné konečnému zákazníkovi (Rushton, Croucher, Baker, 2006).
- Fyzická distribuce se zabývá plněním úkolů spojených s distribucí výrobků přímým zákazníkům (Harrison, van Hoek, 2008).
- Proces alokace a dopravy zboží různým stranám, část logistického řetězce, která je zodpovědná za pohyb zboží od dodavatele k zákazníkovi. Distribuční trasa jako trasa obchodní trasa, kterou společnost distribuuje zboží (ČSN EN 14943)

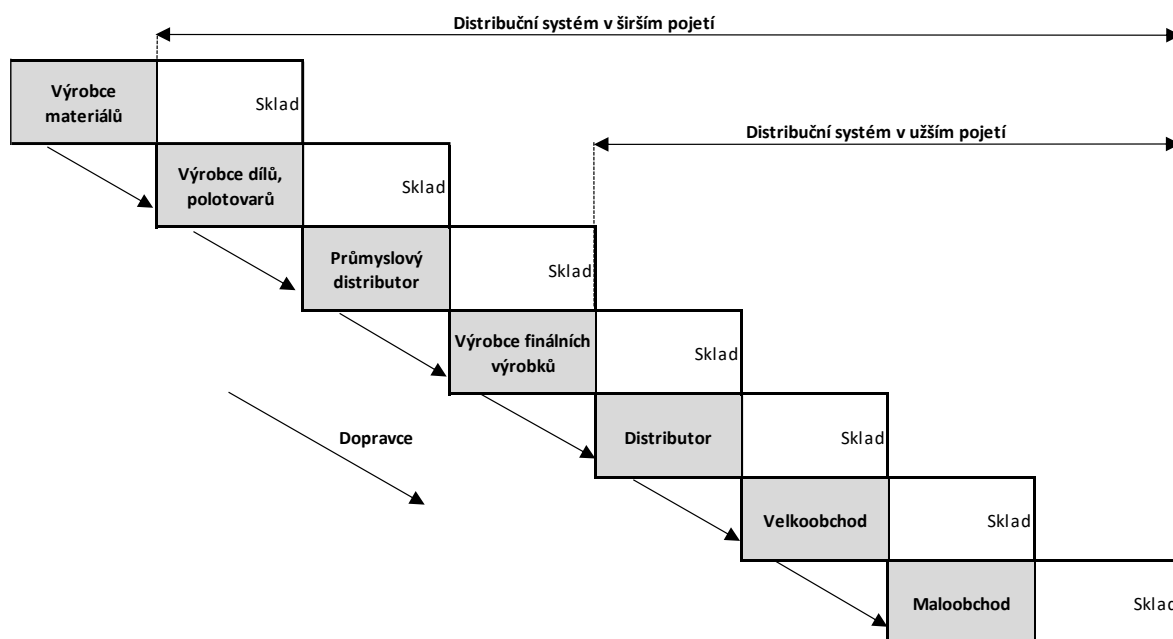
Společným základem všech uvedených definic je vymezení působnosti jednotlivých subjektů v distribučním řetězci, které vykonávají jednotlivé aktivity při realizaci doručení zboží ke koncovému spotřebiteli (zákazníkovi). Distribuční logistika tedy vymezuje oblasti mezi výrobcí, poskytovateli logistických a distribučních služeb a koncovými uživateli výrobků nebo služeb. Poskytovatelem logistických služeb může být i výrobce, avšak v poslední době je spíše trendem poskytování logistických a distribučních služeb třetí stranou. V širším pojetí distribuce je za distribuci považován soubor činností spojených s se zásobováním obecně, tedy i realizace hmotných toků mezi výrobcí a dodavateli surovin, dílů, komponent a výrobcí finálních výrobků (Pfohl, 1988).

Řada pojetí distribučního kanálu je v případě absence přesnější specifikace pojmu „obchodní trasa“ v rozporu s pojetím podle citované ČSN EN 14943. Gros (2016) pro sjednocení pojmů uvádí:

- Distribuci jako proces rozhodování o tom, komu, kam, jaké zboží a kdy výrobky a služby dodávat v logistickém systému.
- Distribuční systém v užším pojetí jako množinu fyzický prvků a lidí podílejících se na uskutečňování aktivit spojených s realizací toků zboží mezi výrobcí finálních výrobků a konečnými zákazníky.

- Distribuční systém v širším pojetí jako množinu fyzických prvků a lidí podílejících se na uskutečňování aktivit spojených s realizací toků zboží mezi prodávajícími a kupujícími v dodavatelském systému obecně.
- Distribuční řetězec jako soubor aktivit spojených s realizací toků zboží v distribučním systému (obr. 3.).

Obrázek 3 Distribuční systém



Zdroj: převzato z Gros, 2016

3.2.1 Funkce distribuční logistiky

V distribuční logistice se vyskytuje mnoho subjektů a aktivit které spolu dohromady vytvářejí funkční distribuční systém a vzájemně se ovlivňují ať pozitivně tak negativně. Hovoříme-li o aktivitách je nutné zahrnout všechny činnosti spojené s distribuční logistikou mezi které lze zařadit výrobu, skladování, dopravu, operace spojené s manipulací zboží (nakládka, vykládka uložení a zajištění zboží na přepravních jednotkách), informační systémy a přenosy zabezpečené komunikace o stavu zásob, objednávek, fakturaci a manipulaci nebo prodeji (Brandimarte a Zotteri, 2007). Proto tedy očekáváme že celý

system distribuční logistiky bude plynule nezavazovat v jednotlivých činnostech a bude všem subjektům poskytovat hodnotu, kterou očekávají (Gros, 2016). Mezi zásadní otázky, které bychom měli zmínit, je, zda je systém ekonomicky a provozně funkční a zda jej lze optimalizovat. V neposlední řadě je otázka, zda bude systém funkční i v případě, že dojde ke změně legislativy právě s ohledem na možné využití vozidel s alternativním pohonem. Distribuční logistika v poslední době čelí několika výzvám (Gros, 2016):

- Rozpor v sortimentu, stále více dodavatelů ve snaze zajistit si co největší obrat nabízí široký sortiment zboží, který ale nereflektuje jednotný obalový systém a distribuční logistice se objevuje zboží různých rozměrů a hmotností.
- Problém lokalizace umístění jednotlivých překladišť nebo terminálů. Pokud by mezi sebou více spolupracovali jednotliví partneři mohli bychom omezit počet skladovacích prostor a zjednodušit systém překládkových terminálů.
- Problém optimalizace dopravy, který vede k poměrně vysokým nákladům na dopravu zboží. Využitím poskytovatele logistických služeb nebo distributora dojde k výraznému snížení nákladů a zároveň optimalizaci dopravních toků.
- Kapacita dopravních tras, optimalizací dopravy zboží lze snížit negativní vliv distribuční dopravy na vytížení hlavních dopravních tras.
- Zvýšené nároky na informační technologie a pokročilé integrace systému, které musejí v on-line režime přenášet informace a pohybech zboží, fakturaci a ostatní manipulaci se zbožím.
- Racionalizace pojistných zásob s ohledem na současnou situaci na logistickém trhu, kde dochází k poklesu kapacit a problémům na pracovním trhu. Racionalizace pojistných zásob může mít i vliv na celkové vytížení vozidel, a tedy celkovou efektivitu distribučního systému.

3.2.2 Struktura distribuční logistiky

Zvyšující se nároky na strukturu distribuční logistiku má vliv i na další ukazatele ve struktuře jako třeba skladovací ztráty, náklady na manipulační a přepravní obaly, reverzní logistiku obalů, náklady na komunikaci a administrativu. U distribuční logistiky hovoříme v této souvislosti o délce a rozsahu (Gros, 2016). V prvním případě jde o počet tzv. distribučních stupňů, počtu subjektů, kterými výrobek prochází od výrobce do místa finální spotřeby, ve druhém jde o počet partnerů na jednotlivých stupních. Z teoretického hlediska, lze najít

různá uspořádání, typologie distribuční logistiky, sítí dané volbou uspořádání přepravních cest mezi třemi základními skupinami účastníků distribuční logistiky, které lze rozdělit (Malindžák, 2007):

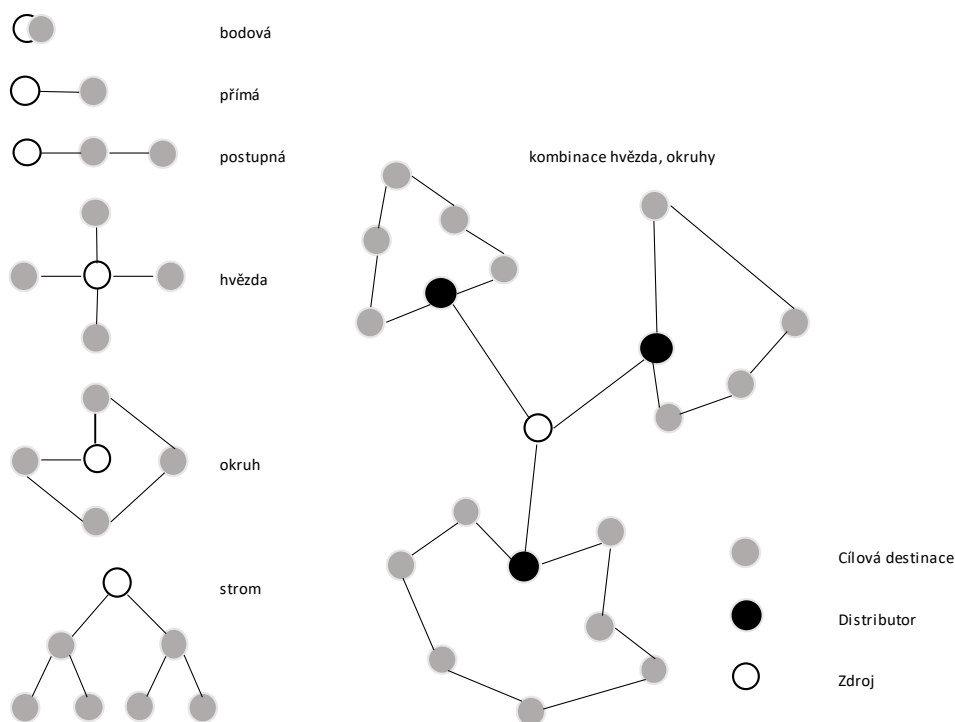
- Zdroje distribuovaných výrobků, zejména výrobci finálních výrobků, polotovarů, dílů.
- Subjekty plnící základní funkce distribuce, přepravci, distributoři, velkoobchodní organizace, poskytovatelé různých logistických služeb.
- Cílové destinace, např. prodejny, různé neziskové organizace (nemocnice, firmy poskytující různé služby, orgány státní správy) až po finální zákazníky v širším pojetí to jsou i výrobní podniky.

Cílem typologie distribučních systémů je vymezení distribuční oblasti, prostoru, ve kterém je třeba zabezpečit přepravu výrobků, dílů, surovin určenou lokalizací jejich hraničních prvků, a návrh vzájemné polohy a vazeb mezi prvky distribuční logistiky je možné nalézt pět základních struktur (Waters, 2009; Gros, 2016, str. 93.):

- Bodovou strukturu, kdy při distribuci v užším pojetí jsou výrobky vyráběny na místě jejich finální spotřeby a nedochází k jejich dopravě od výrobce k zákazníkovi.
- Přímé distribuční sítě v případech, kdy výrobce dodává své výrobky většinou „šité na míru“ konečným zákazníkům. Výrobek je vyroben na objednávku a dopraven k jednomu zákazníkovi.
- Postupnou distribuční síť, v níž dopravce postupně rozváží od dodavatele jeho výrobky ve zvoleném pořadí do jednotlivých míst spotřeby, nebo sváží potřebné díly, výrobky, suroviny od jednotlivých dodavatelů k výrobcovi nebo zpracovateli.
- Distribuční síť typu „hvězda“, kdy přepravce přímo rozváží výrobky (nebo sváží) od zdroje individuálně jednotlivým zákazníkům a vrací se zpět pro další rozvoz.
- Distribuční síť typu „okruh“, kdy jsou výrobky od distributora nebo výrobce dopravovány postupně několika zákazníkům v jednom uzavřeném okruhu a vozidlo se vrací do výchozího místa.
- Přehled jednotlivých sítí je možné doplnit sítěmi typu „strom“. Jsou charakteristické postupným větvením, nebo spojováním distribučních cest.

Uvedené základní typy je možné kombinovat.

Obrázek 4 Typologie distribučních systémů



Zdroj: převzato Gros, 2016

Podle fáze, ve které doprava v logistickém systému působí, rozeznáváme dopravu (Svoboda, 2006):

- Mezioperační (začleněnou do procesu výroby), která je často substituována manipulačními systémy – je prováděna na velmi krátkou vzdálenost často jen v rámci jednoho závodu nebo jedné dílny.
- Technologickou – mezi jednotlivými fázemi výroby, při aplikaci systémů specializace a kooperace výroby a dosahuje často značné přepravní vzdálenosti.
- Oběhovou – která se realizuje po dokončení finálního výrobku v distribučních procesech, obchodní logistice, případně zpětné logistice.

Přijmeme-li logistiku jako systémový přístup řízení oběhových procesů, vyplývá z toho, že dopravu lze v oběhových procesech charakterizovat jako systém se silnými iniciačními účinky na celý oběhový proces, či lépe na integrovaně řízený logistický systém.

Z toho vyplývá, že dopravu je nezbytné optimalizovat (Březina, Bínová, 2014).

- jednak optimalizací činností na logistickém řetězci;

- jednak optimalizací celkových nákladů logistického systému v synergickém efektu.

Logistická teorie uvádí dvě hlavní logistické technologie, jimiž se realizuje ekonomická intenzifikace dopravy na logistickém řetězci (Pernica, 1998, str. 65)

- Technologie předem stanovených dodávek v čase a množství, běžně označovaná jako technologie Just in Time (JIT), která je typickým případem systémového přístupu založeného na kvalitní spolehlivé a kapacitní dopravě. Uplatňuje se především ve fázích výroby, kdy se tímto způsobem dodávají materiály a komponenty pro navazující fáze výroby prakticky bez zásob.
- Technologie centralizace skladů, které jsou přimknuty k vhodným dopravním systémům tak, že i když vzroste objem dopravní práce, minimalizují se celkové náklady, které ve skladovém hospodářství tvoří kapitálové náklady, zejména udržování zásob, odpisy zařízení a náklady na mzdy vyššího počtu zaměstnanců, nutného pro provozování plošně rozptýlených menších skladů.

Definujeme dále pojem *logistická obsluha území* jako obslužnou činnost potřebnou jak k zásobování obyvatel, tak podnikání zejména malého a středního, které nevytváří hromadné, směrově uspořádané, zásilky, je však jedním ze základů zaměstnanosti v regionech.

Tento problém byl v nedávné minulosti řešen globálně v řadě států od vyspělých po méně rozvinuté. Vznikly v zásadě dva problémy (Svoboda, 2004, str. 8):

- Řešit obsluhu oblastí, které inklinují k určitému hospodářskému centru na základě analýzy spotřeby a produkce v malém a středním podnikání.
- Řešit obsluhu velkých měst, ve kterých se objevuje řada omezení pro rozvoj dopravních systémů z důvodu jednak ochrany životního prostředí, jednak řady dopravních omezení vzniklých městskou zástavbou.

Byly vyvinuty zejména dvě technologie zásadně řešící uvedené problémy:

- Technologie Hub and Spoke, která řeší logistickou obsluhu území, inklinujícího k určitému hospodářskému centru. Je založena na existenci *logistického centra*, do kterého jsou napojeny dva dopravní systémy: *systém vnější dopravy*, jímž centrum komunikuje s vnějším světem a *systém vnitřní dopravy*, který zabezpečuje dopravní obsluhu zákazníků uvnitř regionu.

- Technologie Gateway, která řeší otázku obsluhy měst.

3.2.3 Prvky distribuční logistiky

Pro nalezení vhodné distribuční cesty využívají výrobci řadu organizací, které jsou schopné plnit funkce částečně nebo zcela pro zajištění dodávky zboží nebo služby od výrobce ke konečnému spotřebiteli. Mezi hlavní prvky distribuční logistiky lze zařadit (Waters, 2009):

- Velkoobchody, které plní klasickou roli komplementární logistiky a pomáhají tak překonat problém s objednáváním zboží od více výrobců. Zároveň tak jsou schopni vyřešit problém mezi výrobcem a spotřebitelem z hlediska četnosti distribuce. Výrobci usilují o minimalizaci dodávek, zatímco spotřebitelé usilují o častější frekvenci distribuce s ohledem na omezení skladové kapacity konečného spotřebitele nebo maloobchodu. V neposlední řadě tak velkoobchody umějí vyrovnat sezonní výkyv poptávky nebo surovin. Ekonomická funkce velkoobchodů je postavena na skutečnosti, že nákupem zboží od výrobců ve velkých množstvích dosahují nižší ceny, ke kterým připočítávají při prodeji marži schopné pokrýt jejich náklady a realizovat přiměřenou míru zisku.
- Maloobchody, které plní roli kvalitního prodejního místa pro konečné zákazníky. Lokalizace maloobchodů je závislá na koncentraci obyvatelstva. Z pohledu logistiky je zajímavá orientace na specializované prodejny, nebo multifunkční nákupní centra.
- Poskytovatelé logistických služeb, kteří se orientují na specializované činnosti spojené s distribucí zboží. Tedy skladování, kompletace, služby s přidanou hodnotou a distribucí zboží pomocí distribuční sítě.
- Zasilatelské firmy, které se specializují na pouze dopravní služby. A na základě požadavku ze strany klienta optimalizují celý proces, snižují dopravní náklady a přebírají odpovědnost za zboží pouze během přepravy.
- Mezi další prvky distribuční logistiky, lze zařadit zprostředkovatelské firmy, které se specializují na částečné činnosti v distribuční logistice. Zpravidla se zbožím nemanipulují a nenesou za něj odpovědnost a pouze za úplatu zprostředkovávají vybrané činnosti.

3.2.4 Cíle distribuční logistiky

Cílem distribuční logistiky je tedy maximalizovat efektivnost procesů. K tomu je zapotřebí, aby byl vytvořen řídicí systém, který optimalizuje všechny činnosti oběhového procesu (Svoboda, 2004).

Distribuční logistika je zejména ovlivněna těmito faktory:

- kapacitou dopravních prostředků,
- kapacitou dopravních uzlů, dopravních sítí,
- legislativním omezením.

Dopravní soustava v logistickém systému bude funkční, budou-li ve vzájemné proporcionalitě tři faktory, při dokonalé funkci informačního systému. Vazby mezi těmito faktory mají interaktivní charakter, to znamená že (Svoboda, 2004):

- Logistická objednávka dopravy, klade nároky na technologické kapacity dopravní soustavy, rozložené na jednotlivé druhy dopravy podle dále popsané metodiky interakcí mezi kvalitativními charakteristikami dopravy a afinitou přepravovaného zboží. Určuje kvalitativní úroveň přepravy, která zpětně ovlivňuje, jak dále uvidíme, technologickou kapacitu dopravy.
- Technologická kapacita dopravy, ovlivňuje logistickou objednávku dopravy, je-li předem dána kvalita přepravy, neboť je-li technologická kapacita dopravy dostatečně vysoká, může při stanovené kvalitě snižovat až minimalizovat potřeby kapacit ostatních činností oběhového procesu, zejména skladování a manipulaci.
- Kvalita přepravy, s ohledem na to, že produkt dopravy (užitečný efekt přemístění – přeprava) není skladovatelný a vznik nároků na dopravu lze charakterizovat jako stochastický, který je ovlivňován řadou faktorů statického i dynamického charakteru, je pro vyšší kvalitu přepravy nutné zabezpečovat větší rezervy technologické kapacity, v opačném případě omezuje nabídku (logistickou objednávku dopravy).

V logistickém systému (na logistickém řetězci) lze definovat působení dopravy jako (Waters, 2009):

- Rozvojové – kterým je následkem podnětů rozvoje druhů dopravy nebo jejich kombinace v dopravní soustavě dán impuls k určitým pozitivním směrům rozvoje.

- Útlumové – definující oblasti, na jejichž úkor probíhají procesy rozvoje způsobené druhem dopravy, dopravní soustavy nebo opatřením dopravní politiky.
- Indiferentní – doprava není určujícím faktorem.

Z pohledu funkce distribuční logistiky jsou řešeny následující vlastnosti (Gros, 2016):

- schopnost dopravy vytvářet distribuční síť, zabezpečit dopravu libovolného místa,
- schopnost přepravit libovolné množství zboží,
- schopnost rychlosti dopravy,
- schopnost pohodlně dopravit zboží s použitím vhodného dopravního prostředku,
- schopnost zabezpečení dopravního výkonu s ohledem na pohyb v síti,
- schopnost dodatečných služeb (manipulace),
- výše narůstajících nákladů na přepravu.

Kritéria pro stanovení kvality doručení zásilky jsou přesně měřena (Novák, 2013, str. 345):

$$včasnost\ dodávky = \frac{\text{počet dodávek včas}}{\text{všechny přijaté objednávky}} * 100 (\%) \quad (42)$$

$$úplnost\ dodávky = \frac{\text{počet úplných dodávek}}{\text{všechny přijaté objednávky}} * 100 (\%) \quad (43)$$

3.2.5 Optimalizace distribuční logistiky

Hlavním cílem dnešní moderní dopravy je zrychlení a spolehlivost doručení zboží. Avšak po ekonomické stránce se může jednat o neefektivní využití zdrojů zejména v oblasti vytížení vozidel a jejich celkové ekonomické efektivity. Existující problémy ukazují nemožnost dopravních společností správně definovat transportní náklady a specifikovat složení vozového parku v závislosti na požadavcích jednotlivých odběratelů zboží. Pro oblast distribuční logistiky formulujeme koncept EOQ ekonomického charakteru. Ten je pro svou jednoduchost často využíván pro zvýšení spolehlivosti celého systému. I když může být každá realizace poptávky nahodilá, celkový výsledek počítá vždy s roční poptávkou jako konstantní. Doba realizace je doba, mezi objednávkou a finálním dodáním, i pokud nejsou požadované výrobky k dispozici. Zvažujeme-li, že se jedná o Stochastický proces, například kvůli nespolehlivé dopravě, která činí poptávku během doby realizace ještě rizikovější. Celkový přínos pro společnost je tedy snížení přepravního času a zvýšení

spolehlivosti dopravního systému jako celku. Ekonomicky lze tedy prokázat celkové snížení nákladů (včetně externalit) optimálního modelu. Hlavní myšlenkou příspěvku je, že na rozdíl od osobní dopravy, kde již podniky přijaly opatření, aby se pojistily proti důsledkům zpoždění a nepředvídaných incidentů, zejména ve formě bezpečnostního počtu vozidel, který má zajistit optimální úroveň služeb. Celkově by tedy o úspoře nákladů nemělo být rozhodnuto předem, ale musí být výsledkem minimalizace všech příslušných nákladů. Strategická opatření, která snižují dobu přepravy nebo nejistotu v dopravě, umožní podnikům snížit své bezpečnostní zásoby na stejné úrovni služeb nebo zvýšit stávající úroveň služeb. Přepravní požadavky rostou s potřebou moderní společnosti a dnešní nákupní trendy jsou posunuty do oblasti on-line nakupování, kde zákazník zpravidla očekává doručení zásilky na adresu bydliště (Pilík, Juříčková a Kwarteng, 2017). Samozřejmostí je doručení zboží v minimálním časovém termínu. S rostoucím nárůstem po přepravní kapacitě se zvyšují negativní vlivy silniční nákladní dopravy v oblasti životního prostředí zejména škodlivin a nárůstu hluku v městských aglomeracích (Cattaruzza a kol., 2017). Cílem měst je celkové snížení těchto negativních vlivů, proto se dnes utvářejí tzn. nízkoemisní zóny. Oba tyto negativní vlivy jsou součástí klasických vozidel s konvenčním pohonem. Proto stále více dopravních společností hledá alternativu udržitelného rozvoje dopravy a distribuce zboží s ekologicky méně náročnými vozidly. Jedním z východisek je možnost využití elektromobilů nebo vozidel s hybridním pohonem (Grauers a kol., 2013). Pořizovací investice, která je vyšší oproti klasickým vozidlům vede k zamyšlení efektivního využití. Jedním z předpokladů pro zvýšení efektivity je ideální trasa vozidla ale i svým způsobem chování konečného spotřebitele. Jako jednoho z faktorů pro zvýšení efektivity v distribuci zboží. Dnešní uspěchaná doba umožňuje skoro neomezené možnosti doručení zboží a spotřebitel si velmi rychle zvykl udržovat pouze minimální nebo žádné zásoby, protože očekává doručení v krátké době zpravidla do 24 hodin od objednání. Tím pádem jsou přepravní společnosti nuceni investovat do více vozidel s rozdílnou kapacitou. Konečná výše investice do vozidel pro distribuci přinese i změnu v chování spotřebitele. Protože vyšší pořizovací náklady budou muset dopravci promítnout do finální ceny za doručení zboží. Lze tedy uvažovat o možné změně v chování spotřebitele, protože vyšší náklady spojené s častějším doručením zboží budou kompenzovány v ceně produktu, ale spotřebitel může požadovat výrobek s nižší konečnou cenou. Abychom docílili lepšího chování spotřebitelů a tím docílili větší efektivity v

nákladech na doručení můžeme využít konceptu EOQ (Economic order quantity). Jedná se o jeden z nejvíce diskutovaných modelů v produkční logistice (Khan a kol., 2011). Asi nejznámější adaptací vzorce je metoda EPQ (Economic Production Quantity), které zohledňuje denní poptávku výroby produktů. Další známou modifikací konceptu EOQ je „Japonská Produkce“ praktický přístup zaměřený na velikost objednávky a doby výroby nebo přípravy objednávky (Schonberger, 1982) a zavedením zásad jako jsou Just-in-time (JIT). Přístup, který je obvykle založen na produkčním přístupu „Pull Production“ (Abdulmalek, Rajgopal, 2007). A kdy je čas přípravy přizpůsoben poptávce zákazníků. Finální výrobky jsou ihned distribuovány zákazníkům. Co ale v případě že výroba nebo příprava objednávky nemůže reagovat na poptávku od zákazníků, vzhledem k delším dodacím lhůtám nebo možným výpadkům ve výrobě. Pak by měli být procesy doručení zboží předem naplánované, třeba pomocí „Push systémů“ (Monden, 2011). V tomto případě se ale zvýší operativní procesy, zásoby zboží a celkové logistické náklady. Pomalejší nebo nevyvážené objednávky pak přinášejí do celkového systému více nákladů na realizaci opětovné objednávky. Tato práce rozšiřuje další možné využití konceptu EOQ pro stanovení optimální objednávky s ohledem na minimalizaci nákladů a zvýšení efektivity pro distribuci zboží. Zároveň je třeba věnovat pozornost optimalizaci zásob v dobách nejistoty, včetně sledování doby přepravy nebo přípravy objednávky jako součást celkového procesu. Nedílnou součástí optimalizace by měla být i poptávka za hodinu (den, týden), které tvoří stochastické proměnné. V takových případech obvykle existuje vyšší pravděpodobnost vyprodání zásob, to znamená, že nebude možné dodat výrobky ze skladu. Aby nedošlo k vyprodání zásob řeší se tzv. pojistná zásoba, která umožňuje firmě optimálně rozložit stav skladových zásob. Nebo si vytvořit mezisklad pro výrobky. Menší mezisklad může znamenat plynulé zajištění dodávek zboží, zatímco velký mezisklad výrazně ovlivní celkové náklady na logistiku. Nejistota ohledně skladových zásob znamená, že k minimalizaci nákladů na logistiku musí být připočteny jak náklady bezpečnostních zásob, tak i náklady na zásoby. Je zřejmé, že optimální skladové zásoby a náklady na sklad se zvyšují s nejistotou. Nespolehlivá doprava na druhé straně vede k nadměrným bezpečnostním zásobám a vyšším nákladům na zásoby. Zároveň lze předpokládat, že poptávka je vytvářena stochastickým procesem, tedy počet zásilek za rok se sice bude rok od roku měnit, ale v průběhu několika let budou průměrné roční náklady na operace konstantní. Předpokládáme, že cílem optimalizace pomocí EOQ je

minimalizace ekonomického dopadu celého modelu. Tedy minimalizaci všech logistických nákladů jako jsou náklady na dopravu, nepřepavní náklady na objednávku, náklady na skladování zásob-včetně nákladů na skladování bezpečnostního skladu, aby se zabránilo nejisté poptávce během dodací lhůty-a náklady na zásoby. Aplikací konceptu EOQ lze dosáhnout v budoucnu vyšších úspor ze specializace nebo úspor z rozsahu optimalizovaných nákladů logistiky. Tedy ekonomický dopad jak na straně dodavatele, tak na straně odběratele. Možný přístup EOQ je vždy aplikován na reálná distribuční data. A porovnán se skutečnými náklady na distribuci zboží. Analýza nákladů a přínosů konceptu EOQ využívá koncepty od ekonomické teorie ke změně zlepšení efektivity distribuční dopravy a snížení negativního vlivu, který moderní způsob dopravy sebou přináší (Graham, Gibbons, 2019). Koncept EOQ je jeden z nejstarších modelů, který je z podstaty minimalizační. Cílem modelu je snížení operativních logistických nákladů. Základní myšlenku modelu představil v roce americký ekonom Ford W. Harris v roce 1913 (Harris, 1913). Obecná formulace konceptu EOQ:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DK}{h}} \quad (44)$$

Kde:

- Q^* optimální objednávané množství
- D poptávka – celkové roční množství
- K fixní náklady na objednávku, expediční náklady
- h celkové roční náklady na jednotku zboží

Obecný vzorec EOQ platí pouze pokud je poptávka konstantní po celý rok, tedy očekáváme že každá další objednávka je doručena v plné výši. Pro každou objednávku musí být zadány fixní náklady. Je známa cena za odebrané zboží. Cílem konceptu EOQ je minimalizovat celkové náklady na zásoby a určit optimální velikost objednávky (Kundu a Staudacher, 2016). Lze tedy v budoucnu očekávat vyšší míru spolupráce logistických operátorů, majitelů a odběratelů zboží ve snaze co nejvíce optimalizovat náklady a zároveň efektivně využívat přepravní kapacity, tedy i využití konceptu EOQ, případně jeho modifikací pro optimalizace daného problému. Zcela zásadní význam pro správné definování problému, konstrukce konceptu EOQ a jeho následná modifikace pro využití v silniční dopravě, je

nastavení systému, aby vyhovoval všem stranám, které se podílejí v rámci logistického řetězce (Husinec, Šubrt, Fejfar, 2020)

Pro celkovou identifikaci nákladů a jejich pochopení musíme nejprve definovat majitele celého procesu a definovat jednotlivé logistické náklady spojené s optimalizací EOQ. Zásadním problémem je vždy minimalizace celkových nákladů včetně příslušných přepravních nákladů s ohledem na velikost zásilky a s ohledem, že velikost zásilky nesmí přesáhnout velikost vozidla. Musí být tedy předem proveditelná a roční přepravní kapacita musí pokrývat minimálně roční poptávku. Mezi hlavní distribuční náklady řadíme tyto:

1. Transportní náklady, jedná se celkové náklady spojené s doručení zboží. Tedy nejenom náklady mezi skladem a odběratelem ale i náklady kombinované dopravy. V případě kombinované dopravy se předpokládá, že tarifní sazba je celková cena za dopravu TC (Total Costs) na jednotku přepravované komodity. Zároveň očekáváme, že četnost je dostačující pro celkové množství abychom nemuseli omezovat velikost objednávky. Transportní náklady jsou ovlivněné snahou o maximální využití vozového parku pro distribuci zásilek a variabilitou použitých vozidel.

Abychom mohli definovat celkové přepravní náklady definujeme následující parametry vzorce pro výpočet nákladů (TC) při jedné nakládce a vykládce.

$$TC = (T_n * P_t) + (T_p * P_t) + (L_1 * P_r) + (L_0 * P_r) + A_c \quad (45)$$

Vzorec pro výpočet nákladů (TC_c) při kombinaci jedné nakládky a více vykládek.

$$TC_c = \left((T_{n1} * P_t) + (T_{p1} * P_t) + (L_1 * P_r) \right) + \left((T_{n2} * P_t) + (T_{p2} * P_t) + (L_2 * P_r) \right) + \dots + \left((T_{nx} * P_t) + (T_{px} * P_t) + (L_x * P_r) \right) + (L_0 * P_r) + A_c \quad (46)$$

Kde:

- T_n neproduktivní čas (čekání na nakládku, vykládku, povinné přestávky)
- T_p čas potřebný pro nakládku a vykládku vozidla

- L_{ij} doručovací vzdálenost do místa $i, j, \dots n$. v km
- L_0 vzdálenost z poslední vykládky zpět do nakládacího depa
- P_r sazba za km vozidla (variabilní v závislosti na použitém typu vozidla)
- P_t sazba za jednotku času
- A_c celkové administrativní náklady

Zohledňujeme transportní plány pro jednotlivé úseky, které představují jednotlivé klienty při kombinované vykládce. V důsledku toho neklademe důraz na optimalizaci dopravní trasy, nýbrž pracujeme s již známými vzdálenostmi.

2. Manipulační náklady, náklady spojené s přípravou zboží, tedy náklady spojené s administrativou objednávky. Náklady kompletace (OC – Operation Costs) a náklady pro zabalení zásilky a přípravy pro expedici. Mezi manipulační náklady patří i náklady spojené s příjmem zboží z výroby a náklady spojené se zaskladněním zboží. Z hlediska dělení nákladů se jedná o variabilní náklady, které významně může ovlivnit operativní řízení.

Vzorec pro výpočet nákladů (OC) kompletace pro jednu zásilku.

$$OC = ((T * P_m) + (T_m * P_m) + A_c + O_c) \quad (47)$$

Kde:

- T čas potřebný pro příjem zboží a zaskladnění
- T_m čas potřebný pro přípravu objednávky
- O_c ostatní náklady spojené s přípravou objednávky
- A_c celkové administrativní náklady
- P_m sazba za hodinu práce

3. Skladovací náklady, náklady spojené s uskladněním zboží, tedy náklady spojené pronájmem prostoru, investicí do regálového systému, energií a udržovacími náklady (kontrola uskladněného zboží). Skladovací náklady WC (Warehouse Costs) souvisejí jak s uložením zboží v regálovém systému, tak při uskladnění na volné ploše. Součástí skladovacích nákladů jsou i náklady manipulačních ploch, které se využívají pro kontrolu, přípravu nebo manipulaci zboží. Náklady expediční

plochy lze započítat do ostatních manipulačních ploch. Z hlediska dělení nákladů se jedná spíše o fixní náklady, které významně můžeme ovlivnit optimalizací uložení nebo změnou konstrukce regálového systému. V oblasti skladovacích nákladů jsou i náklady manipulační techniky.

Vzorec pro výpočet nákladů skladovacích nákladů (WC – warehouse costs):

$$WC = (T_w * P_m) + (Q_{rs} * P_c) + (Q_{fp} * P_f) + O_c \quad (48)$$

Kde:

- T_w čas potřebný pro zaskladnění, vyskladnění zboží ke kompletaci objednávky
- O_c ostatní náklady (manipulační technika, energie atd.)
- P_c sazba za uložení v regálovém systému
- P_f sazba za uložení na volné ploše
- P_m sazba za hodinu práce
- Q_{rs} množství zboží uskladněné v regálovém systému
- Q_{fp} množství zboží uskladněné na volné ploše

4. Pojistné zásoby – jsou záměrně vytvořené části zásob, které slouží ke krytí mimořádných výkyvů v poptávce. Je to rezerva, která se využívá v případě, když dodavatel nedodá dodávku. Pomáhá vyrovnávat kolísání poptávky nebo prodloužení dodací lhůty, kdy zásoba klesla pod objednací úroveň. Jednotlivé parametry modelu pojistné zásoby jsou definované vzorcem pro výpočet pojistné zásoby σC .

$$\sigma C = \sqrt{\bar{R}^2 * (\sigma S^2) + \bar{S}^2 * (\sigma R^2)} \quad (49)$$

vzorec pro výpočet směrodatné odchylky prodeje (σS)

$$\sigma S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}{n - 1}} \quad (50)$$

Kde:

- σC pojistná zásoba potřebná k uspokojení 68% pravděpodobnosti (jedna směrodatná odchylka), že během cyklu nedojde k vyčerpání zásob

- $\bar{R}$ průměrný cyklus doplnění zásob
- σR směrodatná odchylka cyklu doplnění zásob
- $\bar{S}$ průměrný denní prodej
- σS směrodatná odchylka průměrného denního prodeje
- S_i denní prodej ve dni i
- $\bar{S}$ střední hodnota denních prodejů
- n počet dnů pozorování

3.2.6 Rizika distribuční logistiky

Pro zajištění maximální efektivity distribuční logistiky na straně jedné reprezentované logistickými společnostmi a straně druhé uživateli (klienty) musíme definovat rizika, které mohou výrazně ovlivnit celkovou kvalitu služby a negativně ovlivnit ekonomické zhodnocení celého systému. Zároveň musíme přihlédnout i k celospolečenskému zájmu kdy distribuční doprava může ovlivnit kvalitu života. Tento celospolečenský zájem by měl být přesně formulovaný státní dopravní politikou a celkovou koncepcí nákladní dopravy s dopadem na distribuční logistiku. Abychom mohli míru uplatnění tohoto kvalitativního efektu vyjádřit a posoudit tak jako nabízené služby (produkty), je nutné hodnotit kvalitu dopravy jako funkční prvek logistického systému (Ashton, 1966). Charakteristické vlastnosti dopravy ve vztahu k racionalizaci logistického procesu při zachování vztahů mezi funkční efektivností dopravy a afinitou zboží dle (Ashton, 1966):

- Schopnost dopravy vytvářet sítě, tedy zabezpečení dopravní obsluhy libovolného místa v osídlení je jedním z předpokladů funkce a fungování oběhových procesů, jejichž výsledným efektem je zabezpečit spotřebu výrobní produkce. Pro řešení lze použít modifikované metody alokačního problému, které lze v zásadě popsat pomocí vymezené dopravní sítě, zobrazené rovinným orientovaným a ohodnoceným grafem typu síť $G = (V, H)$, kde H je množina dopravních cest a V množina uzlů, ve kterých se dopravní cesty spojují, rozdělují nebo křižují. Na této dopravní síti máme rozmístit sklady pro zásobování kooperujících závodů nebo obchodní sklady, tak aby na dopravní síti byla respektována propustnost hran a uzlů, která vymezí současně velikost skladů a odpovídající velikost a intenzitu dodávek za jednotku času.

- Přepравovat libovolně velké či libovolně malé množství, kdy je optimální velikost obvykle závislá na volbě nejen druhu dopravy, ale i na volbě dopravního prostředku.

Z hlediska logistických přístupů není možné tyto vlastnosti vyhodnotit samostatně, ale vždy v kontextu s dalšími vlastnostmi, obvykle s četností, rychlostí a pravidelností dodávek a růstem nákladů na přemísťování v závislosti na snižování velikostí dodávky a zvyšování frekvence, rychlosti a pravidelnosti dodávek (Ashton, 1966). Ve vztahu k optimalizaci procesů na konkrétním materiálovém toku by přepravní množství nemělo být limitující prvkem (Brandimarte a Zotteri, 2007). Stupeň rychlosti přepravy, ovlivňuje rychlost přepravy jako jedna z komponent logistického řetězce vázanou výší kapitálových nákladů na udržování zásob. Je proto žádoucí, aby z pohledu oběhových procesů jako celku byla přepravní rychlost co nejvyšší, tj. doba, ve které je zboží „uskladněno“ v dopravním prostředku co nejmenší. Z hlediska afinity zboží již není tento požadavek zcela vyhraněn, neboť na jedné straně existují zásilky, které pro své přepravní vlastnosti (např. zkazitelnost ovoce, zeleniny a dalších potravinářských výrobků, přirozený úbytek hmotnosti zásilky během přepravy) nebo organizaci výroby (např. technologie kooperované výroby) požadují velmi rychlou přepravu, na druhé straně jsou zásilky, kde z hlediska přepravní způsobilosti nemusí být rychlost přepravy vysoká (pak je spíše hodnocená pravidelnost dodávek). Z logistického hlediska je pak potřebné stanovit optimální přepravní rychlost minimalizací součtové nákladové funkce, stanovené v závislosti růstu ceny za přepravu při rostoucí rychlosti a poklesu ztrát z vázanosti kapitálových nákladů případně dalších ztrát způsobených prodloužením doby přepravy (Brandimarte a Zotteri, 2007).

Stupeň jistoty dopravního výkonu, je charakterizován zejména třemi atributy (Brandimarte a Zotteri, 2007):

- determinací časového údaje dodání zásilky, včetně tolerančního pásma, ve kterém se smí determinovaný údaj pohybovat,
- četností dodávek (spojů) za jednotku času (nejčastěji za den nebo týden),
- pravidelností dodávek (dodržení sjednaného cyklu).

pro řešení optimalizace logistických procesů jsou rozhodující zejména četnost a pravidelnost dodávek. Čím četnější a pravidelnější doprava, tím nižší mohou být skladovaná množství surovin a materiálů.

Bezpečnost dopravního výkonu je daná optimální volbou druhu dopravy vzhledem k afinitě zboží a jejímu přepravnímu balení. Pro optimalizaci oběhového procesu na konkrétním materiálovém toku je rozhodující vazba především mezi činnostmi dopravy a přepravního balení. Optimální vazbu je nutné určit většinou experimentem nebo empirickým vyhodnocením statistických souborů obalové techniky a poškození zásilek v závislosti na druhu dopravy a technologii změny dopravního prostředku. Závažnou úlohou je zde nutné přisoudit multimodální, respektive kombinované dopravě, kde dopravní jednotka tvoří současně přepravní obal zásilky a při tom zrychluje manipulaci při změně druhu dopravy (Ashton, 1966).

Pohodlnost dosažení a použití dopravního prostředku má z logistického hlediska vliv především na skladové hospodářství. Čím lepší je dosažitelnost dopravního prostředku, tím lepší jsou podmínky pro četnější obsluhu a minimalizaci skladových ploch. Samozřejmostí je, že přepravní služby poskytované dopravním podnikem budou vždy realizovány v různé kvalitě. V optimálním případě poskytuje dopravce svým zákazníkům další doplňkové služby tak, aby zákazník obdržel komplexní přepravní služby z domu do domu, v požadované rychlosti, spolehlivosti, periodicitě a bezpečnosti. V souvislosti s problematikou kvality přepravních služeb, výběrem optimálního dopravního systému v integrovaném systému oběhu a následně výběrem konkrétního dopravce přepravním má důležitý význam rozsah a kvalita nabídky poskytování dalších souvisejících služeb. Škála poskytovaných doplňkových služeb dopravcem je široká a závisí především (Ashton, 1966):

- na afinitě zboží (zda přepravované zboží tyto služby potřebuje),
- na požadavcích na informační toky (poskytování informací o stavu a místě zásilky v procesu přemístění),
- na konkrétních specifických potřebách uživatelů dopravy.

Tyto a další služby mají pro optimalizaci oběhového procesu různou váhu a je nutné zdůraznit, že ovlivňují především podnikové náklady na materiálové toky. Jednou z nejdůležitějších takových služeb je služba spediční, která uživateli poskytne komfort odbavení zásilky z domu do domu, včetně celní deklarace a účetně finančních operací a zákazník má možnost jednat pouze s jedním smluvním partnerem i při nezbytném způsobu kombinace druhů dopravy.

3.2.7 Legislativní omezení distribuční logistiky

Distribuční logistika musí zohledňovat legislativní omezení pro pohyb v distribuční síti tedy dopravní obslužnost daného místa a omezenou pracovní dobu řidiče (Machačka a Machačka, 2015).

- Pracovní dobu řidiče obsahuje Nařízení (ES) 561/2006 a nařízení (EHS) 165/2014. Nařízení 561 stanovuje pravidla pro doby řízení, přestávek v řízení a doby odpočinku řidičů. Nařízení 165 definuje technické podmínky záznamového zařízení, které sleduje pracovní dobu řidiče.
- Zákon č. 341/2002 Sb., o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách upravuje maximální limity a rozměry jízdních souprav.
- Zákon č. 56/2001 Sb., o provozu na pozemních komunikacích stanovuje technické požadavky vozidel.

3.2.8 Efektivní distribuční plán

Vytváření efektivního plánu distribuční dopravy bychom měli zajistit celkovou efektivitu rozvozu, tak abychom dosáhli maximální kvality a minimalizovali náklady technické, materiální a peněžní (Gross, 1996)

S využitím efektivního plánování lze dosáhnout maximálního využití pracovní doby řidiče a minimalizovat ekonomické náklady na distribuci zboží, která je důležitá pro ekonomickou stabilitu celého distribučního systému. Aby nedošlo k výraznému nárůstu nákladu při změně distribučních vozidel je potřeba navržení takového umístění nabíjecích stanic, které nový systém nebude zatěžovat neefektivním časem při nabíjení, ale přinese optimální využití vozového parku a efektivní využití pracovní doby řidiče. Součástí efektivního plánování je nejenom aktualizace doručovacích adres a ale i aktualizace nabíjecích míst, která se může jak pozitivně, tak negativně promítnout do celkové efektivity. Nedílnou součástí bývá i zvolení vhodné distribuční sítě. Distribuční síť je propojena dalšími navazujícími dodávkami s ucelenými komplety, které se přepravují do vzdálených uzlů, aby zde mohly být přeloženy a doručeny v rámci distribučního území daného uzlu (Husinec, 2015)

Proto, abychom mohli efektivně plánovat, musíme mít relevantní data, která obsahují všechny potřebné informace. Ta je potřeba pravidelně aktualizovat na základě měnících se podmínek. Někdo by mohl namítnout, že v dnešní době pokročilých informačních technologií a on-line přenosech by měla být data aktuální. Avšak opak je pravdou. Mnohdy

neaktualizovaná data přinášejí pro společnosti dodatečné výdaje na rozvoz, tím se zvyšují náklady, samozřejmě klesá výkonnost a požadovaná kvalita (Husinec, 2015)

Hlavní nevýhodou distribuční logistiky je, že pracuje s nepravidelnými elementy, tím je tato služba náročnější při celkovém procesu plánování. Součástí distribuční sítě jsou i vozidla dopravující elementy v trakčním obvodu uzlu. Stabilita těchto vozidel přináší výhodu znalosti koncové adresy a zvyšuje efektivitu při doručení (Husinec, 2015). V opačném případě dochází ke snižování efektivitu a doručovacího času a tím vznikají vícenáklady na opětovné doručení v rámci distribuční sítě.

Vzhledem k nepravidelnosti se tedy jedná o nejnáročnější proces plánování (Plevný, Žižka, 2005). V tomto případě se distribuční trasy mění na základě aktuálních požadavků pro distribuce elementů.

3.3 Zelená logistika

Uvažujeme-li o distribuční logistice z pohledu strategického nákupu, tedy o modelu, který je vysoce efektivní při minimalizaci nákladů musíme také uvažovat o dosažení maximální efektivity i s ohledem na možné změny v systému přechodem k jiné formě alternativních pohonů pro nákladní dopravu. Gargasas, Samuolaitis a Mūgienė (2019) poukazují na vysoce zákaznicky orientovanou povahu logistických služeb v oblasti distribuční logistiky. Kdy poskytovatelé služeb implementují řešení, která jsou žádána ze strany klientů a s ohledem na udržitelný rozvoj s minimálním dopadem na životní prostředí, a tak udržet pozitivní vztahy se svými dodavateli a klienty (Lodienė, 2012). Moderní trendy zelené logistiky vyvíjejí a implementují řadu ekologických opatření pro minimalizaci dopadů a zajištění udržitelné výroby kde logistika hraje důležitou roli (Karaman a kol., 2020; Long a kol., 2022). Výhodou zelené logistiky je možnost kombinovat distribuční logistiku s moderními městskými dopravními systémy a v tomto kontextu je tedy zelená logistika vnímána jako možnost pro snížení dopadů na životní prostředí, která ale respektuje potřeby moderní distribuce (Kurbatova a kol., 2020). Implementací zelené logistiky je nutné řešit mnoho otázek, které ale v důsledku mohou přinést snížení nákladů, a tedy lepší efektivitu distribuční logistiky a zvýšení kvality poskytovaných služeb koncovým uživatelům a spotřebitelům. Jedním z hlavních přínosů implementace „zelené logistiky“ je možnost snížení nákladů na nákup materiálů, nákladů na energii, zpracování odpadu a snížení poplatků za likvidaci odpadů ve snaze eliminovat škody na životním prostředí (Sidek a kol., 2021). Hlavními principy zelené logistiky by mělo být uplatňování integrovaného přístupu při řízení logistických toků, racionální využívání zdrojů a zavádění inovativních technologií s cílem snížit zátěž životního prostředí (Dzwigol a kol., 2021). Primárním cílem zelené logistiky je tedy snížit negativní vnější dopad na životní prostředí, který je většinou spojen se skleníkovými plyny, hlukem a nehodami (Dekker a kol., 2011; Mensing a kol., 2011; Metais a kol., 2022). Koncept zelené logistiky lze popsat jako systém opatření, který je navržen podle lidských potřeb a zájmů a zdůrazňuje strategické směřování implementace udržitelného rozvoje s přihlédnutím k ekologickým, ekonomickým, sociálním a humanitárním aspektům (Gnann a kol., 2018; Jedlinski, 2014; Kutkaitis a Zuperkienė, 2011; Sostko a Jakubavicius, 2018). Současně s rozvojem zelené logistiky je potřeba budovat dopravní infrastrukturu s podporou inteligentních dopravních systémů které budou zajišťovat bezpečnější, lépe koordinované a efektivnější využití dopravní sítě pro různé

uživatelé (Peciukenas a kol., 2017; Poullikkas, 2015). Při realizaci cílů koncepce zelené logistiky je třeba vzít v úvahu ekonomické, sociální a ekologické aspekty celkového řešení. Nejedná se pouze o optimalizaci tras, ale je potřeba implementovat inteligentní řešení pro všechny procesy související s přechodem k zelené logistice. Nelze hovořit o implementaci, pokud ostatní procesy zůstanou stejné, je tedy potřeba pokročilá integrace inteligentních řešení napříč celým logistickým řetězcem. Distribuční logistika přechodem k zelené logistice bude muset přijmout základní principy štíhlé výroby (Lean, Kaizen apod), tedy minimalizaci neefektivity. Přechodem k zelené logistice bude potřeba vybudovat infrastrukturu nabíjecích míst pro nákladní vozidla, zajistit dostatečný počet kvalifikovaných specialistů a neposlední řadě implementovat pokročilé informační systémy s podporou rozhodování.

Zelenou logistikou často nazýváme udržitelnou logistikou ohleduplnou k životnímu prostředí, proto je zavádění zelené logistiky zdoluhavý a složitý proces, který musí respektovat sociální, hospodářské a ekologická hlediska moderní společnosti. Velký dopad na zavádění zelené logistiky bude v oblasti silniční nákladní dopravy, která je důležitou oblastí pro zajištění celkové ekonomiky regionu i s ohledem na již vybudovanou silniční infrastrukturu. A lze očekávat v budoucnu intenzivní podporu ze strany národních vlád na snížení dopadu stávající logistiky a distribuce a zavedení principů zelené logistiky hlavně pro distribuci zboží do 200 km. Proto je zavedení ekologických logistických opatření v logistických společnostech velmi důležité pro snížení negativního dopadu distribuční logistiky na životní prostředí. Postupným zaváděním konceptu zelené logistiky do stávajícího procesu distribuční logistiky mohou firmy získat konkurenční výhodu a zároveň minimalizovat dopad do nákladů zvolením vhodné strategie, podpořené pokročilým informačním systémem. Právě v oblasti informačních systému bude kladen důraz na implementaci algoritmů pro optimalizaci logistických procesů a na zvýšení efektivity celkového distribučního systému i s ohledem vyšších vstupních nákladů spojených s přechodem na zelenou logistiku. Podstatou výzkumného problému je skutečnost, že aplikace ekologických logistických opatření musí konečným důsledkem přinést zvýšení efektivity a stability celkového procesu distribuce bez dopadu na koncového spotřebitele. Vědecký problém by proto měl být formulován jako otázky týkající se podmínek a opatření vedoucí k přechodu na zelenou logistiku a výsledky této práce by měli poskytnout možné řešení přechodu k zelené logistice v distribuci na krátké vzdálenosti. Teoretickými

aspekty finálního doručení v kombinaci se zelenou logistikou se zabývalo mnoho autorů porovnáním podmínek zelené logistiky při finálním doručení a reverzní logistikou, která má podobné teoretické aspekty (Lingaitis a Bazaras, 2007). Při analýze zelené logistiky autoři i přes teoretické aspekty upozorňují na zásadní provozní rozdíly mezi zelenou logistikou a reverzní logistikou, která je více zaměřená systém zpětného odběru při finálním doručení a nakládání s odpady nebo produkty na konci životnosti. Zatímco provoz zelené logistiky zaměřen na organizaci celého logistického dodavatelského řetězce s cílem dosáhnout řešení šetrných k životnímu prostředí, použitím vhodných zdrojů jako jsou obaly, alternativní palivo nebo jiné energetické zdroje a organizování činností k zamezení nebo snížení prázdných kilometrů. Většina autorů zdůrazňuje, že má smysl vytvářet univerzální koncepty, které zahrnují několik cílů a oblastí činnosti, jako jsou sociální, ekonomické a environmentální, a to vše kombinovat do konceptu udržitelného rozvoje. Lze dokonce předpokládat, že tento koncept bude zaujímat významné místo v perspektivě moderního rozvoje podnikání a bude klást důraz na sociální a ekologické otázky namísto komerčního zisku (Bajdor a kol., 2021). Tyto zdroje zdůrazňují, že zelená logistika, jako koncept udržitelného rozvoje, je důležitá při řešení environmentálních, ekonomických a sociálních problémů regionu jako celku. Ekonomickým aspektem konceptu zelené logistiky bude správné stanovení cen, zajištění kvality a konkurenceschopnosti dané společnosti. Environmentálním aspektem bude zaměření na využívání obnovitelných zdrojů energie, úsporu fosilních paliv a minimalizaci emisí spojených distribuční logistikou. A konečným důsledkem sociálním aspektem bude zvýšení společenské prestiže logistických společností za trvalý přínos v oblasti snižování negativního vlivu na životní prostředí. Proto je potřeba nejen implementovat řešení výše uvedená ale i zároveň zvyšovat společenskou odpovědnost a kompetence zaměstnanců daných společností (Vienazindiene a kol., 2021).

Vysoká hustota obyvatelstva ve městech vede ke kombinaci přeplněné dopravní infrastruktury, nedostatku parkovacích míst a souvisejících problémů se zásobováním finálních spotřebitelů. To vede k dodatečným nákladům na palivo pro provozovatele distribuční logistiky kvůli nerovnoměrné rychlosti jízdy a snížené efektivitě při využívání lidských a materiálních zdrojů a zvyšuje požadavky pro plánování doručení zboží, častěji lze sledovat porušení pravidel silničního provozu při doručení zboží. Které má za následek snížení bezpečnosti silničního provozu a způsobuje negativní frustrace účastníků silničního provozu a zvýšení negativního vlivu nákladní dopravy na životní prostředí a v konečném

důsledku vznik regulativních omezení pro možnost zásobování vozidly s konvenčním pohonem. S rostoucím vlivem právním předpisů a problémy s omezením plynulosti dopravních toků je nutné uplatnit nová inovativní technologická opatření, pro strategická manažerská rozhodování, která povedou ke zvýšení efektivity distribuční logistiky a zvýšení environmentálního kreditu společností u veřejnosti (Macharis a Kin 2017).

Distribuční logistika je značný přispěvatelem v produkci emisí a skleníkových plynů. Na základě tohoto Evropská agentura pro životní prostředí v roce 2018 spolu s Evropským parlamentem uvedli, že dopravou v Evropské unii (EU) vzniká téměř 30 % všech emisí oxidu uhličitého (CO₂), z čehož silniční doprava s 72 % celkové dopravy se podílí z 22 % na těchto emisích. Těžká nákladní doprava s 26 % a lehká nákladní doprava s 12 % ze silniční dopravy, tedy okolo 25 % emisí celkové dopravy, to znamená, že jsou zodpovědné přibližně za 8 % celkových emisí CO₂ v rámci EU. Zatímco v jiných odvětvích produkce CO₂ od roku 1990 klesá, v dopravě je s rostoucí poptávkou kontinuální růst. Mezi lety 1990 a 2016 se emise těžkých nákladních vozidel zvýšily o 25 % a v případě nepřijetí nových opatření by se očekával další růst. Podle Evropského parlamentu se proto Evropská unie zavázala v rámci Pařížské dohody omezit emise skleníkových plynů do roku 2030 alespoň o 40 % ve srovnání s rokem 1990. Ke splnění tohoto cíle EU schválila nařízení pro její členské státy snížit produkci CO₂ v dopravě o 60 % do roku 2050, vůči roku 1990. Limitem pro nová osobní auta je pokles emisí o 37,5 %, u dodávek o 31 % a nákladních vozidel o 30 % do roku 2030 oproti roku 2019 s přechodným cílem do roku 2025 snížení o 15 %. Tato dohoda se i nadále navyšuje a posledním schváleným cílem je podle Ministerstva životního prostředí ČR (2020) snížení emisí skleníkových plynů v EU do roku 2030 nejméně o 55 % ve srovnání s rokem 1990, což má vést ke klimatické neutralitě do roku 2050. Ke splnění těchto závazků EU a její členské státy se rozhodli přijmout řadu opatření. Například výrobci mají povinnost zajistit na trhu prodeje nových vozidel alespoň 2 % vozidel s nízkými emisemi a současně monitorovat a vykazovat emise z těchto vozů pro zlepšení transparentnosti trhu. Dále je podporován rozvoj trhu alternativních paliv spolu s výstavbou infrastruktury pro tato paliva nebo jsou směrnicemi podporována „čistá“ vozidla ve veřejných zakázkách, uvádí Svaz průmyslu a dopravy ČR (2017).

3.4 Stávající postupy pro volbu umístění nabíjecích stanic pro nákladní dopravu

Výše uvedená kapitola poskytuje celkový přehled snižování skleníkových plynů a negativního dopadu silniční dopravy dle EU. Aby tohoto cíle bylo možné dosáhnout je nutné minimalizovat dopad konvenční nákladní dopravy. Analýzy ukazují, že je to možné pouze při použití vozidel s nulovými emisemi, tj. nákladních vozidel na elektrický nebo vodíkový pohon (Breed, Speth a Plötz, 2021). Současný výzkum ukazuje, že chybí nabíjecí infrastruktura, jejíž rozvoj je nezbytný pro rozšíření bateriových elektrických nákladních vozidel (Nykvist a Olsson, 2021). V důsledku toho EU plánuje instalovat a vybudovat infrastrukturu nabíjecích stanic. Tvorba návrhu této infrastruktury je založena na modelech jedné ze tří skupin (Métais a kol., 2022)

- modely založené na uzlech dopravní sítě
- modely založené na hranách dopravní sítě
- modely založené na geografických vlastnostech trase.

Modely založené na dopravních uzlech jsou tzn. modely p-mediánu, kde jsou nabíjecí stanice umístěny v uzlech tak, aby požadavek sousedních uzlů mohl být splněn s minimální ujetou vzdáleností (Deb, Tammi, Kalita a Pinakeshwar Mahanta, 2018). Tento přístup vychází z Hakimiho algoritmu (Hakimi, 1964), který jej použil k určení optimální polohy policejních stanic v silniční síti. Tento přístup lze tedy použít i pro umístění nabíjecích míst pro elektromobily. U modelů založených na uzlech pokrývá nabíjecí stanice určitou oblast nebo určitou část silnice. Proto se obvykle modeluje poměrně hustá nabíjecí síť s mnoha nabíjecími body. Nabíjecí stanice mohou být umístěny v pravidelných vzdálenostech a jejich velikost může být závislá na intenzitě provozu pro sousední uzly (Speth, Plötz a kol., 2022). Důraz tedy nemusí být kladen na minimalizaci nabíjecích míst ale na jejich dimenzování. Pro aplikaci modelu je vždy vyžadován objem provozu v jednotlivých uzlech (Speth a Funke, 2021).

Naproti tomu modely založené na dopravních hranách se spoléhají na počet dopravních toků v rámci sítě a řeší pokrytí maxima projíždějícího provozu s minimem stanic. Model umístění zachycování toku první podskupina modelů založených na cestě (Hodgson, 1990). V roce 2013 byl představen model nabíjecích stanic pro Barcelonu kde došlo k umístění pouze 27 nabíjecích stanic, který by zabezpečil poptávku 92 % uvažovaných toků (Rios, Ramos a Zambrano, 2015) Obecná myšlenka umístění tak, aby bylo možné dodat maximum do

předem známých cest systémem start-cíl s pevným počtem stanic, zůstává stejná (Kuby a Lim, 2005; Lim a Kuby, 2010). Stejný model byl využitý i pro vozidla poháněná vodíkem, kombinovaný s modelem omezující počet nabíjecích stanic tak aby se zabránilo velkým nerealistickým stanicím (Kluschke a kol., 2020). Nevýhodou těchto modelů je vysoká výpočetní náročnost a je tedy nutné nějakým způsobem omezit modelování třeba snížením oblastí pro které hledáme vhodné umístění nabíjecích stanic (Jochem, Szimba a Reuter-Oppermann, 2019).

Model založený na trase bere v úvahu individuální jízdní profily a lokalizuje nabíjecí stanice tak, aby odpovídaly jízdním profilům. Zatímco úroveň detailů se zvyšuje od modelů založených na uzlech přes modely založené na cestě až po modely založené na kapacitách tras, zvyšují se také nároky na vstupní data (Speth, Sauter a kol., 2022).

Pro přesnější modelování infrastruktury pro nákladní automobily, lze využít data GPS, která jsou založená na trase a datech z jednotlivých cest a vzdálenosti (Whitehead a kol., 2022). S využitím modelu založeného na trase byla modelována infrastruktura vodíkových čerpacích stanic pro nákladní vozidla v Německu (Kluschke a kol., 2020). Analýza byla založena na 2655 trasách. A vzniknul tak model 100 vodíkových čerpacích stanic, kterými lze obsloužit 13000 Km dálnic

Vzhledem k tomu, že se EU v současné době diskutuje o celoevropské síti dobíjecích stanic pro nákladní automobily, je velmi důležité vytvořit si představu o tom, jak by taková síť mohla vypadat v příštích několika letech.

3.5 Lokační modely

Abychom mohli efektivně využívat vozidla s alternativním pohonem zejména nákladní elektromobily je nutné vybudovat síť nabíjecích stanic v místech s vysokou koncentrací nákladní dopravy jako jsou logistické parky, terminály, průmyslové oblasti, odstavné plochy kapacitních silnic a areály dopravních a logistických společností. S rozvojem nových technologií zejména dat s GPS a pohybech vozidel lze definovat ideální místa pro výstavbu nabíjecích stanic (Wang a kol., 2014). Aplikací dat z GPS vozidel taxi služby, které poskytují reprezentativní vzorek o pohybu lze definovat ideální místa pro nabíjecí stanice a (Tu a kol., 2016). Strategické umístění těchto stanic je proto jedním z klíčových aspektů umožňující efektivní distribuci zboží ke koncovým uživatelům. Optimální návrh sítě nabíjecích stanic musí minimalizovat celkové náklady spojené s nutným nabitím na trase, tedy najít vhodné geolokační umístění. S ohledem na výstavbu nové sítě se jedná o dlouhodobé strategické umístění, které musí respektovat omezující podmínky nákladní dopravy. Pro podporu rozhodování byly formulovány lokalizační modely (Gros, 2015). Klasifikace lokalizačních modelů (Gros, 2015)

- Podle počtu lokalizovaných objektů rozlišujeme modely pro umístění jednoho nebo více objektů.
- Podle množiny míst, která jsou k dispozici, rozlišujeme případy s množinou neomezenou (objekt lze umístit kdekoli v oblasti), nebo diskrétní, kdy je třeba vybrat z předem definovaného souboru míst.
- Dále rozlišujeme modely podle toho, zda je počet lokalizovaných objektů třeba určit, nebo je tento počet předem dán.
- Modely rozlišujeme i podle toho, zda je umístění objektů v rovině, nebo v prostoru.

Obecně lze říct, že pokud uvažujeme lokační problém jako takový, neberou se do úvahy pouze poptávkové body, ale i toky materiálů, výrobků, informací a lidí (Dresner a Stone, 2006). K vyřešení lokačního problému musí znát tyto informace (Dresner a Stone, 2006)

- Kolik středisek obsluhy je potřeba rozmístit,
- Kde by měla být střediska rozmístěná,
- Jakou kapacitu by měla mít,
- Které obslužné body by měly být ke střediskům přiřazené,
- Jaká kapacita bude potřeba na cestě mezi obslužným centrem a zákazníkem,

- Jaká by měla být kapacita obslužných center.

Cílem je tedy nalezení optimálního umístění konkrétního obslužného střediska. Lokalizace je definována souřadnicemi (x, y) a je vypočítána ze souřadnic pevných bodů neboli poptávkových bodů a podle váhy, která jim je přiřazena (Pernica, 1995). Problém s lokalizací skladů je multikriteriální optimalizační problém, který závisí na kvantitativních a kvalitativních kritériích (Jacyna-Gołda a Izdebski, 2017). Množství kritérií zdůrazňuje složitost problému vyplývajícího z možného umístění dobíjecích stanic, pro které lze využít vícekritériální rozhodovací metody při výběru kompromisního řešení.

3.5.1 Lokalizace jednoho objektu – vzdálenost po osách

Jedná se problém, kdy je nutné umístit jeden objekt, který je ve vazbě na n existujících míst. Nalezené souřadnice nového objektu $N = (x, y)$, který je ve vazbě na existující objekty se známými souřadnicemi $M_j = (x_j, y_j), j = 1, 2, \dots, n$ musí splňovat požadavek minimalizace vzdálenosti (Gros a Dyntar, 2015).

Formulace modelu pro případ výpočtu vzdálenosti po osách bude mít tvar.

$$Z = \sum_{j=1}^n (|x - x_j| + |y - y_j|) \rightarrow \text{MIN} \quad (51)$$

- Kde (x_j, y_j) jsou body mezi k nimž je potřeba lokalizovat nejvhodnější obslužné středisko a w_j je důležitost jednotlivých objektů

Nalezení souřadnic nového objektu $N = (x, y)$ je jednoduché, uvědomíme-li si, že z povahy formulované úlohy vyplývá, že účelovou funkci můžeme rozdělit na dvě části

$$Z = \sum_{j=1}^n w_j |x - x_j| + \min \sum_{j=1}^n w_j |y - y_j| \rightarrow \text{MIN} \quad (52)$$

Pokud nelze nový objekt umístit do nalezeného bodu, je potřeba najít vhodná, jiná umístění a současně budeme muset připustit růst účelové funkce.

3.5.2 Lokalizace jednoho objektu – vzdálenost kvadratická

Lokalizovat objekt lze i pomocí kvadratické funkce s účelovou funkcí (Gros a Dyntar, 2015).

$$Z = \sum_{j=1}^n w_j ((x - x_j)^2 + (y - y_j)^2) \rightarrow \text{MIN} \quad (53)$$

Pro nalezení souřadnic objektu $N = (x, y)$ položíme derivace funkce podle x a y rovné nule a dostaneme

$$x = \frac{\sum_{j=1}^n w_j x_j}{\sum_{j=1}^n w_j} \quad \text{a} \quad y = \frac{\sum_{j=1}^n w_j y_j}{\sum_{j=1}^n w_j} \quad (54)$$

3.5.3 Lokalizace více objektů – vzdálenost po osách

V tomto problému jde o umístění více objektů $N_i = (x_i, y_i)$ pro $i = 1, 2, 3, \dots, m$.

Pokud v účelové funkci respektujeme i vazby mezi starými objekty, pak souřadnice nových objektů musí splňovat následující kritérium (Gros a Dyntar, 2015)

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n w_{ij} (|x_i - x_j| + |y_i - y_j|) + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n w_{jk} (|x_j - x_k| + |y_j - y_k|) \rightarrow \text{MIN} \quad (55)$$

Kde $(x_i, y_i), i = 1, \dots, m$ jsou hledané souřadnice nových objektů a $(x_j, y_j), j = 1, \dots, n, (x_k, y_k), k = 1, \dots, n$ jsou souřadnice objektů, k nimž hledáme objekty nové, w_{ij}, w_{jk} jsou váhy jednotlivých tras.

Účelovou funkci můžeme opět rozdělit na dvě funkce:

$$Z_1 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n w_{ij} |x_i - x_j| + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n w_{jk} |x_j - x_k| \rightarrow \text{MIN} \quad (56)$$

$$Z_2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n w_{ij} |y_i - y_j| + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n w_{jk} |y_j - y_k| \rightarrow \text{MIN} \quad (57)$$

Souřadnice x_i získáme řešením první úlohy (56), souřadnice y_i získáme řešením druhé úlohy (57). Obě úlohy lze převést na lineární optimalizační model s využitím dvojice komplementárních proměnných vyjadřujících vzdálenost dvou míst vždy jako kladné číslo.

3.5.4 Lokalizace více objektů – vzdálenost kvadratická

Formulace kritéria pro případ kvadratické vzdálenosti bude mít tvar (Gros a Dyntar, 2015).

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n w_{ij} ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2) + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n w_{jk} ((x_j - x_k)^2 + (y_j - y_k)^2) \rightarrow \text{MIN} \quad (58)$$

Funkci vzdálenosti opět zderivujeme a parciální derivace položíme rovny nule.

Dostaneme soustavu lineárních rovnic, jejichž vyřešením získáme hledané souřadnice bodů $N_i = (x_i, y_i)$ pro $i = 1, 2, 3, \dots, m$.

3.5.5 Weiszfeldův algoritmus

Algoritmus pracuje na základě principu transformace $W(x, y)$. Ta převádí souřadnice bodu (x, y) do souřadnic, které jsou blíže optimu. Prvotní (výchozí) souřadnice lze zvolit libovolně, za pomoci transformace se vypočítají nové souřadnice z těch původních. Tato posloupnost se blíží (tedy konverguje) k optimálnímu řešení problému. Mezi p středisky obsluhy $X = (x, y)$ a poptávkovými body $P = (a, b)$ se pomocí euklidovské metriky vypočítá jejich vzájemná vzdálenost. Náklady na obsluhu i -tého objektu se určí jako součin této vzdálenosti a váhy (požadavek v uzlu) w_i , celkové náklady na obsluhu všech objektu pak jako (Kolínský, 2009):

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^p w_i \sqrt{(x - a)^2 + (y - b)^2} \quad (59)$$

Samotná transformace $W(x, y)$ je odvozena na základě parciálních derivací funkce $f(x, y)$. Následující parciální derivace se položí rovny nule a vyjádří se z nich souřadnice x a y . (Kolínský, 2009).

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial x} = \sum_{i=1}^p \frac{w_i}{\sqrt{(x - a)^2 + (y - b)^2}} \cdot (x - a) \quad (60)$$

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial y} = \sum_{i=1}^p \frac{w_i}{\sqrt{(x - a)^2 + (y - b)^2}} \cdot (y - a) \quad (61)$$

Výsledné vyjádření proměnných x a y

$$x_k = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{w_i a_i}{\sqrt{(x_{k-1} - a_i)^2 + (y_{k-1} - b_i)^2 + \varepsilon}}}{\sum_{i=1}^m \frac{w_i}{\sqrt{(x_{k-1} - a_i)^2 + (y_{k-1} - b_i)^2 + \varepsilon}}} \quad (62)$$

$$y_k = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{w_i b_i}{\sqrt{(x_{k-1} - a_i)^2 + (y_{k-1} - b_i)^2 + \varepsilon}}}{\sum_{i=1}^m \frac{w_i}{\sqrt{(x_{k-1} - a_i)^2 + (y_{k-1} - b_i)^2 + \varepsilon}}} \quad (63)$$

Parametr epsilon v Weiszfeldově algoritmu slouží jako kritérium ukončení algoritmu, tj. určuje, kdy algoritmus skončí svůj běh. Weiszfeldův algoritmus je numerická metoda pro nalezení geometrického průměru (mediánu) souboru bodů v n-dimenzionálním prostoru. Epsilon určuje, jak blízko k optimálnímu řešení musí být výsledek, aby algoritmus skončil.

3.5.6 Diskrétní lokační problém

Výhodou řešení v diskrétním lokačním problému je předem známa množina možných umístění objektů. A existuje pouze několik variant, mezi nimiž se rozhoduje. Pro řešení problému diskrétní lokace se využívá multikriteriální analýza, která spočívá v rozhodování na základě několika zcela odlišných kritérií. Nejvhodnější varianta problému je pak vybrána na základě ohodnocení jednotlivých variant podle těchto kritérií. (Nickel and Puerto, 2006).

3.5.7 Model umístění nabíjecích stanic s ohledem na dojezd elektromobilu

He a kol. (2018) se zabývá správným umístěním nabíjecích stanic, které je zásadní pro rozšíření využití elektrických vozidel (EV). Navrhují dvouúrovňový algoritmus s ohledem na dojezdovou vzdálenost na jedno nabití a vyhledává optimální umístění nabíjecích stanic, tak aby se mohly maximalizovat trasy na kterých jsou umístěny nabíjecí stanice. Pro efektivní formulaci je algoritmus navržený jako jednoúrovňový matematický problém, který lze dále optimalizovat za pomoci heuristického algoritmu. (He a kol., 2018). Model dále počítá:

- Každý řidič EV má vlastní nabíjecí stanici a může nabíjet auto v noci nebo ve volném čase. To zajišťuje, že všechny EV mají plný výkon.
- Nabíjecí stanice jsou zaměřeny především na uspokojení požadavků při cestě na dlouhé vzdálenosti nebo ke zvládnutí neočekávaných událostí (např. že někteří řidiči zapomněli nabíjet svá EV v noci nebo ve volném čase).
- Každý řidič může být obsloužen pouze jednou na celkové trase.
- Spotřeba energie v každém EV je závislá pouze na vzdálenosti, nikoli na aktuálním příkonu při nabíjení.

Matematická formulace modelu

$$Z = \sum_{w \in W} \sum_{r \in R^w} X_r^w f_r^w y_r^w \rightarrow \text{MAX} \quad (64)$$

za podmínek

$$\sum_{k \in \psi_r^w} x_k \geq y_r^w, r \in R^w, w \in W \quad (65)$$

$$y_r^w \geq \sum_{k \in \psi_r^w} \frac{x_k}{n}, r \in R^w, w \in W \quad (66)$$

$$\sum_{k \in K} x_k = n \quad (67)$$

$$x_k, y_r^w \in \{0,1\}, k \in K, r \in R^w, w \in W \quad (68)$$

Kde:

- $G=(V, E)$ silniční síť
- V množina vrcholů
- E je množina hran
- W množina dvojic výchozí a koncová-destinace
- R^w sada cest mezi dvojicí $w \in W$
- ψ_r^w sada uzlů, které umožňují trasu r mezi dvojicí w pro výstavbu nabíjecích stanic
- D dojezd EV
- l_r^w délka trasy r mezi dvojicí w
- x_k binární proměnná, která se rovná 1, pokud je nabíjecí stanice umístěna v uzlu k a 0 jinak
- d_r^w binární parametr, který se rovná 1, pokud je délka trasy r menší než jízdní rozsah D a 0 v opačném případě
- X_r^w podíl toku trasy, který má být účtován na trase r
- ξ_r^w doba nabíjení požadovaná, když řidič zvolí trasu r
- y_r^w binární proměnná, která se rovná 1, pokud je stanice na vhodné pozici trasy r a 0 v opačném případě
- u_r^w binární proměnná, která se rovná 1, pokud je trasa r proveditelná pro EV a 0 v opačném případě
- q^w požadavek na cestu mezi dvojicí w
- f_r^w dopravní proud na trase r mezi dvojicí w
- n počet nabíjecích stanic, které mají být umístěny
- v_a tok provozu na spoji a
- δ_{ar}^w výskyt cesty spoje, který se rovná 1, pokud je spoj a na cestě r a jinak 0

- t_a doba cesty spoje a
- t_a^0 doba volného toku spoje a
- c_a kapacita spoje a
- t_r^w doba jízdy na trase r
- M dostatečně velké kladné číslo

Přitom f_r^w je řešení toku trasy následujícího problému přiřazení uživatelského rovnovážného provozu s uvážením řízení dojezdu, doby nabíjení a rozhodovacích proměnných x_k a y_r^w

$$f_r^w = \sum_{a \in A} \int_0^{v_a} t_a(z) dz + \sum_{w \in W} \sum_{r \in R^w} \xi_r^w f_r^w \rightarrow \text{MIN} \quad (70)$$

za podmínek

$$\sum_{r \in R^w} f_r^w = q^w, w \in W \quad (71)$$

$$(D \cdot (1 - y_r^w) - l_r^w) f_r^w \geq 0, r \in R^w, w \in W \quad (72)$$

$$v_a = \sum_{w \in W} \sum_{r \in R^w} f_r^w \delta_{ar}^w, a \in A \quad (73)$$

$$v_a \geq 0, f_r^w \geq 0, a \in A, r \in R^w, w \in W \quad (74)$$

3.6 Metoda analytického síťového procesu (ANP)

Rozhodnutí o vhodné definici nabíjecí stanice pro nákladní elektromobily je poměrně složitý proces a je nutné tedy zvolit systémový přístup. Třeba pomocí metody ANP, která je vhodným nástrojem pro řešení komplikovaných problémů a vztahů mezi kritérii. Metoda ANP je široce využívána ve výzkumu a vývoji pro optimální výběr lokality, například v případě větrných elektráren na moři (Fetanat a Khorasaninejad, 2015). Modely vícekritériálního rozhodování se dnes používají v mnoha oblastech pro kvantifikaci, porovnávání a hodnocení kritérií. Analytický síťový proces (ANP) je jedním z nejúčinnějších nástrojů v případech, kdy interakce mezi kvalitativními a kvantitativními faktory vytváří síťovou strukturu (Saaty, 1994). Rozděluje rozhodovací problém do sítě dílčích problémů, které jsou následně analyzovány a vyhodnocovány. Síťové strukturování rozhodovacího problému pomáhá vyjádřit situace, v nichž jsou rozhodovací kritéria seskupena podle dílčích kritérií pro interakční modely. Jednotlivá kritéria mohou také představovat jednotlivé shluky (clustery), např. kritéria rozhodovacího problému. Metoda analýzy síťového procesu je metoda odvozená T. L. Saatym v roce 1996. Metoda byla primárně rozšířena z metody AHP. Hlavní výhodou metody ANP je možnost modelovat problémy s velmi komplikovanými vzájemnými závislostmi (ovlivňování) mezi alternativami, kritérii a subkritérii, resp. mezi těmito částmi navzájem. Obecný model ANP má tedy síťovou strukturu, která propojuje:

1. Cíl analýzy nebo rozhodování
2. Klastry kritérií
3. Klastry dílčích kritérií, přičemž dílčí kritéria obvykle zahrnují překážky dosažení cílů.
4. Klastry alternativ.

4 Lokace nabíjecích stanic pro nákladní vozidla

Vlastní práce se zaměřuje na využití stávajících algoritmů v oblasti dopravních okružních problémů a algoritmů pro lokalizaci a umísťování objektů. Cílem práce je tedy navržení možného umístění nabíjecích stanic pro nákladní vozidla s ohledem na možnost využití již stávajících logistických a skladovacích areálů a doplnění o lokality, které nejsou dostupné ze stávajících lokalit a modifikace algoritmu pro dopravní okružní problémy s aplikací nových omezujících podmínek, zejména aplikace omezující podmínky kapacity baterií v distribuční dopravě.

V současné době je značná část výzkumu v oblasti nákladní dopravy zaměřena na využití vozidel s elektrickým pohonem právě jako podpora pro logistické společnosti, které budou nuceny z hlediska legislativy vyměnit vozový park. V současné době jsou navrhována jak nová konstrukční řešení, tak řešení modelů pro aplikaci využitelnosti a efektivnosti nákladní dopravy. Cílem je tedy řešit náročné otázky spojené s používáním elektrických vozidel pro městskou (city) logistiku. V několika posledních letech si doprava získává stále větší pozornost výzkumné komunity díky novému paradigmatu spojenému s distribucí zboží. Minimalizace nákladů na skladování byla vždy klíčovým faktorem při řízení dodavatelského řetězce. To zahrnuje hledání řešení, která minimalizují kapacitu skladů. Kromě těchto omezení se počet zákazníků neustále zvyšuje, což vede k přísným požadavkům na efektivitu a spolehlivost při doručování jejich zásilek. Vzniká tak nová výzva a silná potřeba zajistit pravidelnější a častější distribuci zboží, což vede k většímu počtu nákladních vozidel pro distribuci zboží zejména v městských aglomeracích. Poskytovatelé logistických a dopravních služeb musí věnovat pečlivou pozornost nákladům na dopravu, aby zůstali konkurenceschopní. Matematické modelování a řešení problému algoritmů spojených s distribucí zboží je jednou z možností, jak simulovat reálný provoz a zároveň tak definovat nutné náklady, a tedy i míru ziskovosti s ohledem na pořizovací náklady nového vozového parku. Tento poměrně složitý problém lze poměrně snadno definovat. Máme-li množinu n zákazníků, z nichž každý má poptávku a umístění (jako souřadnice x a y nebo možná jako matici vzdáleností mezi každým zákazníkem); vozový park, z nichž každé má pevnou kapacitu (obvykle stejnou pro všechna vozidla); depo, kde musí každé vozidlo startovat a končit. Problémem je vypočítat počet tras (počet tras je obvykle stejný jako počet vozidel), který minimalizuje ujetou vzdálenost a zajistí, aby vozidlo nepřekročilo svou kapacitu s ohledem na zákazníky, které navštěvuje, a jejich poptávku. "Vzdálenost" lze podle potřeby

nahradit časem, náklady nebo jiným měřítkem efektivity. Dopravní okružní problémy byly formulovány v několika variantách od jednoduchých dopravních modelů až po složité genetické algoritmy respektující různé omezující podmínky, zejména různé otevírací doby a různé doby pro zásobování s ohledem na centra velkých měst, které omezují průjezd nákladní dopravy různými časovými omezeními, tedy respektují doby, kdy je možné doručovat zboží. Zároveň je třeba uvažovat že v modelu distribuce zboží se nejedná vždy pouze o doručení z výchozího depa ale i svoz zásilek nebo „reverzní“ logistiku obalů. Kromě faktorů, které mohou zpomalit zavádění ekologických vozidel pro doručování zboží, jako je omezená autonomie, špatně dostupná nabíjecí infrastruktura, dlouhá doba nabíjení a vysoké pořizovací náklady, existuje však obrovský potenciál pro zavádění těchto vozidel kvůli nízkým nákladům na provoz a údržbu. Správná úvaha by měla být, že se vozidla budou nabíjet v nočních hodinách na výchozích depech a potřeba vyhledat nabíjecí stanici během dne bude pouze pokud se bude jednat o povinné pauzy, odstavení vozidla pro nakládku nebo vykládku, doporučení by tedy mělo být, že nabíjení mimo noční odstavení by nemělo výrazně ovlivňovat časový výkon řidiče. Současně lze uvažovat že nabíjecí zařízení by mělo být konsolidované do míst s vysokou koncentrací nákladní dopravy. Moderní literatura řeší tři hlavní proudy. První uvažuje o možném využití technologie, která umožní řidiči vykonat přepravu bez nutnosti dobíjet na trase. Druhý uvažuje o možném nabíjení během trasy ale bez omezení. Třetí uvažuje o technologii, která může rekuperovat energii třeba během brždění a tím bude docházet ke stálému dobíjení akumulátorů. Všechny tři směry se snaží minimalizovat situace, ke kterým by došlo, pokud by vozidlo potřebovalo nabít akumulátory a nabíjecí stanice již byla obsazená.

4.1.1 Kritéria pro umístění nabíjecích stanic

Celkově lze konstatovat, že síť dobíjecích stanic pro nákladní vozidla je nedostatečná, a proto je zde prostor pro systémovou analýzu definice nabíjecí stanice a optimalizaci lokací těchto dobíjecích stanic. Množství kritérií nabíjecí stanice zdůrazňuje složitost a komplexnost problému vyplývajícího z možného umístění dobíjecích stanic, pro které lze využít vícekritériální rozhodovací metody při výběru kompromisního řešení. Vícekritériální rozhodovací problém definice nabíjecí stanice může například vycházet z analýzy metodou Analytického síťového procesu (ANP) (Saaty, 2008). Je velmi složité učinit rozhodnutí o

správné lokaci nabíjecí stanice bez použití takovéto metody (protože kritéria a sub-kritéria jsou vzájemně závislá), které bude vyhovovat z hlediska dostupnosti zdrojů energetické sítě a efektivity využití při nabíjení. U metody ANP je stanovována důležitost všech relevantních okolností a parametrů umístění a dále stanovení kritérií, podle kterých budeme posuzovat ideální lokaci. Jedním z hodnotících kritérií je umístění v blízkosti logistických parků, nebo umístění v lokacích s vysokou koncentrací nákladní dopravy (odstavné plochy, dálnice, rychlostní silnice). Hlavním cílem je nalezení a posouzení vhodných kritérií pro výstavbu nabíjecích stanic pro nákladní elektromobily.

Z hlediska definice bychom mohli dobíjecí stanice nákladních elektromobilů začlenit do kategorie logistických objektů s možností využít algoritmus lokalizace objektů v rovině s omezením podmínek pro dobíjecí stanice. Problematika umístění závisí na složitosti logistické sítě, která bude víceúrovňová (nepřímý vztah: dodavatelé – mezilehlé body – příjemci). Multikriteriální rozhodovací problém při hledání vhodného umístění nabíjecích stanic je využit pro stanovení preferencí jednotlivých kritérií metodou ANP. Zásadní jsou zpětné vazby shluků, které jsou vzájemně propojeny do rozsáhlého komplexního síťového modelu. Proto se metoda ANP jeví jako velmi vhodný nástroj pro řešení tohoto problému.

Preference kritérií bude částečně navržena dle principu SMART a upřesněna dle metody ANP. Cílem je obecné vyjádření preferencí dílčích cílů, které definují, jak by měla vypadat lokace výsledné nabíjecí stanice.

Kritéria a sub-kritéria, která jsou brána v úvahu pro volbu místa nabíjecích stanic byla stanovena takto. Kritéria 1-5 jsou převzata (Wu, Y. a kol., 2016), kritérium 6 je doplněno autorem:

1. Ekonomické faktory

- Stavebními náklady – náklady spojené s vykoupením pozemků, projektovou dokumentací, výstavbou nabíjecí stanice. Měřitelné v jednotkách EUR.
- Provozními náklady – náklady zahrnující všechny provozní poplatky související s denním provozem. Provozní náklady jsou důležité z hlediska finančního zisku. Měřitelné v jednotkách EUR.
- Návratnost investice – relevantní z hlediska hodnocení nákladů a provozních výnosů. V komerční sféře nejdůležitější ekonomické kritérium. Měřitelné v měsících.

2. Technické faktory

- Vzdálenost od rozvodné stanice – umístění v blízkosti rozvodné stanice ovlivňuje ztrátu na výkonu přenosu elektrické energie. Měřitelné v km.
- Vliv na energetickou síť – relevantní z hlediska bezpečné činnosti energetické sítě. Měřitelné v MW.

3. Dostupnost služby

- Dobíjecí schopnost – maximální počet nabíjecích stanic v jediném okamžiku. Toto sub-kritérium souvisí s počtem vozidel, které mohou být nabíjeny najedou. Měřitelné počtem nabíjecích stanic.
- Dostupnost – je důležitá z hlediska silniční sítě dostupné nákladními vozidly. Měřitelné dostupnou silniční sítí.

4. Sociální faktory

- Rozšíření kapacity – nezbytný požadavek z hlediska dalšího nárůstu nákladních elektromobilů. Měřitelné v objemu nové výstavby dobíjecích stanic.
- Místní postoj – relevantní požadavek dopadu na možné zdravotní problémy obyvatel (elektromagnetické pole, nárůst dopravy). Měřitelné v počtu vydaných povolení pro výstavbu.
- Podpora místní samosprávy – tento atribut může obsahovat možné dotační tituly pro výstavbu (Národní akční plán čisté mobility). Měřitelné v počtu vydaných povolení pro výstavbu.
- Zvýšení zaměstnanosti – relevantní z hlediska nových příležitostí pracovního trhu a vytvoření pracovních míst. Měřitelné v počtu nově vytvořených pracovních míst.

5. Enviromentální dopady

- Dopad na životní prostředí – nutné posouzení vlivu na životní prostředí (proces EIA). Měřitelné v uhlíkové stopě CO₂.
- Energetická úspora (stabilita) – možnost vytvoření autonomní stanice nezávislé na energetické síti nebo vytvoření hybridního modelu, který by mohl reagovat na přebytek energie v síti a tím vyrovnávat kolísání. Měřitelné v MW.
- Dopad do energetické sítě – okamžitý požadavek po výkonu (nabíjení) může destabilizovat energetickou síť. Měřitelné v MW.

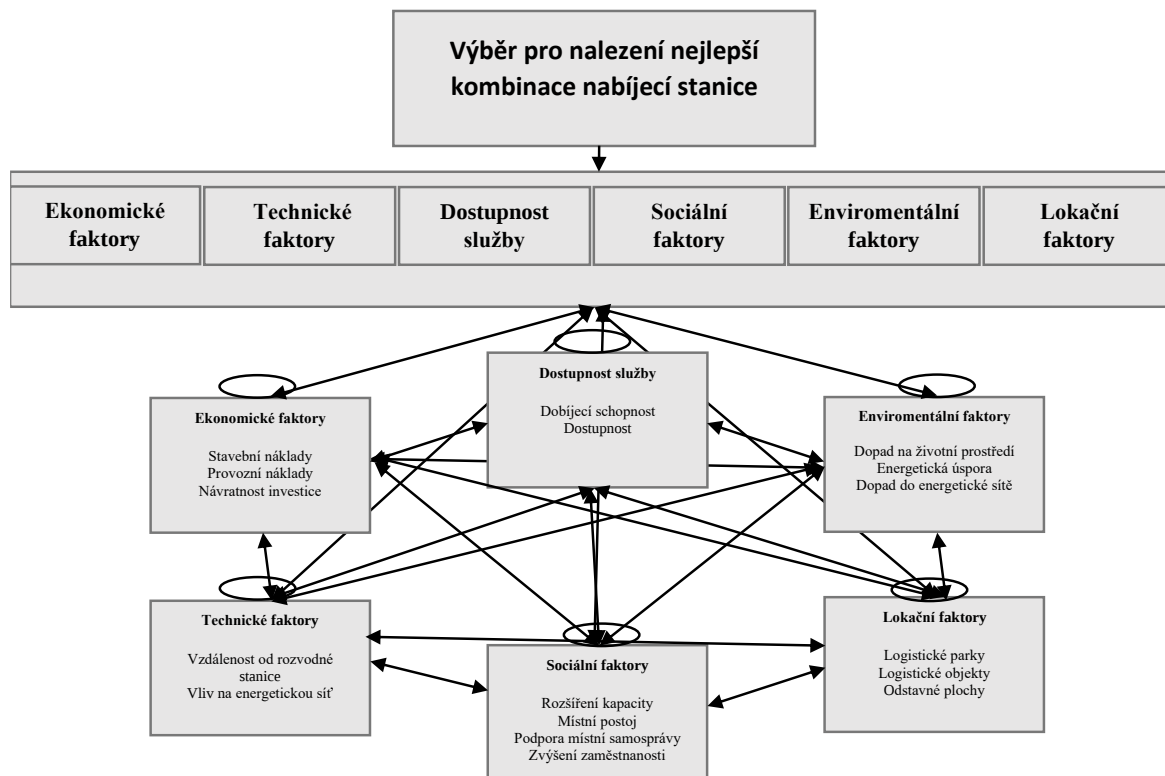
6. Lokace

- Logistické parky – relevantní z hlediska zapojení do logistického řetězce. Místa s vysokou koncentrací nákladních vozidel. Měřitelné počtem dostupných logistických parků.
- Logistické objekty – místa s koncentrací výrobních závodů. Měřitelné počtem výrobních závodů, odstavnými plochy v místech koncentrace logistických služeb.
- Odstavné plochy – kapacitní parkoviště, dopravní terminály (přístavy, nádraží) místa s vysokou koncentrací nákladní dopravy. Tyto plochy jsou relevantní z hlediska možnosti odstavení vozidla, pokud řidič vykonává bezpečnostní přestávku.

Softwarový systém Superdecision byl využit k vytvoření závislostní sítě mezi kritérii a sub-kritérii. První úroveň hierarchické sítě pod uzlem cíl (Výběr pro nalezení nejlepší kombinace nabíjecí stanice), reprezentuje úroveň kritérií jako jedinečných klastrů (mezi nimi nejsou žádné vzájemné závislosti). Váhy kritérií byly nastaveny shodně na 0,17, právě s ohledem, aby některá kritéria nebyla zvýhodněna před ostatními. Další úroveň je reprezentována jednotlivými kritérii (klastry) se sub-kritérii, která jsou klíčovou součástí procesu hodnotícího důležitost každého sub-kritéria v rámci ANP procesu. Tyto vztahy mezi kritérii a sub-kritérii jsou stanoveny na základě zkušeností ostatních autorů nebo subjektivního hodnocení autora z hlediska důležitosti (Příklad vzájemného ovlivnění – kritérium vzdálenost od rozvodné stanice ovlivní náklady na výstavbu, ale nemá přímý vliv na kritérium dosažitelnost stanice nákladním vozidlem. Dosažitelnost vozidlem, náklady na výstavbu, provozní náklady a kapacita nabíjecích stanic má vliv na kritérium návratnost investice). I když nejdůležitějšími kritérii by měly být ekonomické faktory, technická proveditelnost z hlediska energetické sítě, nebo možné výstavby autonomní stanice, počet nabíjecích stanic, musíme zajistit hodnocení pro všechna kritéria. Vztahy v rámci clusterů jsou nejvíce aktuální v rámci ekonomických, technických faktorů a lokace. Z hlediska lokace hodnotíme pro možné umístění nabíjecích stanic do již vzniklých logistických parků nebo jiných průmyslových areálů (výrobní závody, terminálová překladiště a místa s vysokou koncentrací nákladní dopravy). Dosažení některých sub-kritérií vylučuje dosažení jiných nebo naopak, k dosažení jednoho sub-kritéria urychluje dosažení jiného. Pokud je nějaké sub-kritérium relevantní je důležité, aby bylo realistické. Podobné vztahy byly pozorovány v rámci jiných klastrů a mezi nimi (obrázek č. 5). Respektování těchto současných vah je

založeno na expertním hodnocení a je vypočteno pomocí Saatyho matice, která je nedílnou součástí softwaru pro rozhodování Superdecision.

Obrázek 5 Síťový model kritérií nabíjecí stanice



Zdroj: SW Superdecision – vlastní zpracování

4.1.2 Preference kritérií pro umístění nabíjecích stanic

Nevyvážená matice pro váhy se stejnými kritérii, poskytuje ucelený přehled o jednotlivých clusterech, navázaných spojeních a jejich vyhodnocení.

Cílem modelu ANP bylo analyzovat kvalitu a množství různých kritérií, která jsou podstatná pro definici nabíjecí stanice pro nákladní elektromobily. Problematika nabíjecích stanic pro elektro nákladní automobily dosud nebyla podrobně analyzována, na rozdíl od nabíjecích stanic pro osobní automobily. Zde může být ANP analýza s SMART přístupem k hodnocení kritérií přínosná. Použitá metodika se zdá být vhodná pro definici nabíjecí stanice dle více či méně odlišných kritérií. Metoda ANP umožňuje popis a výzkum složitých závislostí mezi důležitými kritérii a sub-kritérii z různých úhlů pohledu. Síťové závislosti jsou typické pro

tento problém. Budoucí model umístění nabíjecích stanice bude zaměřen na váhu kritérií a na posouzení skutečného návrhu definice nabíjecí stanice.

Obrázek 6 Nevyvážená supermatice

		Ekonomické faktory	Technické faktory	Dostupnost služby	Sociální faktory	Enviromentální dopad	Lokace (umístění)
Ekonomické faktory	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Technické faktory	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dostupnost služby	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sociální faktory	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Enviromentální dopad	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lokace (umístění)	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Stavebními náklady	0,00	0,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Provozními náklady	0,00	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Návratnost investice	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vzdálenost od rozvodné stanice	0,00	0,00	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00
Vliv na energetickou síť	0,00	0,00	0,66	0,00	0,00	0,00	0,00
Dobíjecí schopnost	0,00	0,00	0,00	0,66	0,00	0,00	0,00
Dostupnost	0,00	0,00	0,00	0,34	0,00	0,00	0,00
Rozšíření kapacity	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	0,00	0,00
Místní postoj	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00
Podpora místní samosprávy	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00
Zvýšení zaměstnanost	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00
Dopad na životní prostředí	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	0,00
Energetická úspora	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00
Dopad do energetické sítě	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,00
Logistické parky	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50
Logistické objekty	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25
Odstavné plochy	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25

Zdroj: Vlastní zpracování, SW Superdecision

V rámci výpočtu metody ANP byla jednotlivá kritéria a váhy kritérií v tomto pořadí viz. obrázek č. 7.

Obrázek 7 Váhy jednotlivých kritérií

Kritéria	Váhy kritérií
Dobíjecí schopnost	0,1790
Vzdálenost od rozvodné stanice	0,1150
Rozšíření kapacity	0,0960
Logistické parky	0,0930
Stavebními náklady	0,0760
Provozními náklady	0,0630
Dopad do energetické sítě	0,0610
Energetická úspora	0,0610
Místní postoj	0,0600
Podpora místní samosprávy	0,0540
Logistické objekty	0,0390
Dopad na životní prostředí	0,0340
Vliv na energetickou síť	0,0240
Dostupnost	0,0200
Návratnost investice	0,0130
Odstavné plochy	0,0100
Zvýšení zaměstnanost	0,0020

Zdroj: vlastní zpracování

Pro následující umístění nabíjecí stanice budou použita pouze první čtyři kritéria (procentuální podíl je 48,3 %)

- Dobíjecí schopnost – tedy možnost nabíjet pomocí více typů dobíjecích adapterů (koncovek).
- Vzdálenost od rozvodné stanice – minimalizovat ztráty způsobené distribuční sítí.
- Rozšíření kapacity – možnost v budoucnu doplnit lokaci o další nabíjecí stanice.
- Logistické parky – tedy umístění ve stávajících nebo nově vznikajících logistických parcích.

Vybraná čtyři kritéria jsou klíčová a nejvíce relevantní pro konkrétní rozhodovací proces nebo situaci, zároveň přímo souvisejí s cíli práce. Začlenění kritéria Stavební náklady je v první fázi hledání nepoužitelné, protože stavební náklady lze kalkulovat na základě zvoleného umístění. Také další kritéria v pořadí důležitosti dosti v této fázi jsou těžko ohodnotitelná a mají malou preferenci. Tímto omezením se minimalizuje riziko ztráty výběru nevhodných lokací způsobenému málo významnými kritérii.

4.2 Analýza a formulace problému umístění nabíjecích stanic

Legislativní omezení a vládní restrikce pro vozidla s konvenčním pohonem otevírají cestu pro možné využití vozidel a alternativním pohonem, zejména podporou nákladních vozidel s elektropohonem. Částečně lze využít znalostí s rozšiřující se elektromobility v osobních autech a však v oblasti nabíjecích stanic toto není možné. Zatímco u osobních vozidel lze využít městskou infrastrukturu, nákupní střediska, centra zábavy apod. Pro nákladních vozidel tato místa nelze využít s ohledem na omezení průjezdnosti v centrech měst a je tedy potřeba umístit nabíjecí stanice s ohledem na dostupnost nákladních vozidel. Hovoříme tedy o oblasti, která je zatížena určitou mírou nejistoty, zejména v umístění dobíjecích stanic a celkové utilizace vozidla. Vzhledem k určité nejistotě je možné využít metod systémové analýzy pro řešení daného problému, kterým je ideální umístění nabíjecích stanic a současně i to, jak by měly být nabíjecí stanice vybaveny.

4.2.1 Parametry modelu

Pro nalezení vhodné lokace nabíjecích stanic je nutné definovat parametry modelu, které by měly reflektovat kritéria vybraná na základě modelu ANP. Vezmeme v úvahu první 4 kritéria podle váhy:

- Dobíjecí schopnost – tedy možnost nabíjet pomocí více typů dobíjecích adapterů (koncovek).
- Vzdálenost od rozvodné stanice – minimalizovat ztráty způsobené distribuční sítí.
- Rozšíření kapacity – možnost v budoucnu doplnit lokaci o další nabíjecí stanice.
- Logistické parky – tedy umístění ve stávajících nebo nově vznikajících logistických parcích.

Bylo by tedy vhodné umístit nabíjecí stanice do logistických parků, které jsou schopny minimalizovat dopady vybudováním, neboť splňují všechna tři další kritéria. Zároveň je třeba uvědomit si, že jednotlivé dopravní firmy musejí mít nabíjecí kapacitu ve svém areálu. Protože hlavní nabíjecí cyklus by měl probíhat v nočních hodinách jako možnost pro vyrovnaní energetických přebytků, a i s ohledem na pracovní dobu řidiče se jedná o nejlepší způsob nabíjení. Navržená síť nabíjecích stanic by měla sloužit jako doplněk k nutnému dobití palivových článků na trase.

V prvotním výpočtu bude tedy uvažováno s umístěním nabíjecích stanic ve stávajících lokacích. Abychom zjistili, zda lze z těchto lokací provést zásobování jednotlivých míst v České republice je nejprve nutné zjistit vzdálenost míst a stanovit místa s omezenou dostupností vozidla s ohledem na dojezdovou vzdálenost. Zároveň je nutné splnit podmínku, aby se dané vozidlo vždy vrátilo zpět do počátečního uzlu, musíme tedy uvažovat pouze poloviční vzdálenost z celkového dojezdu vozidla. Abychom simulovali podmínky, které mohou nastat na trase bylo přistoupeno ke třem možným scénářům. Výrobce udává dojezd vozidla 200 km. Kapacitní rezerva byla stanovena 10 %.

1. maximální dojezd 180 km – ideální klimatické a dopravní podmínky
2. průměrný dojezd 156 km – zhoršené podmínky na trase
3. minimální dojezd 132 km – zhoršené klimatické a dopravní podmínky

Navrhovaný model bude pracovat s nejhorším scénářem tedy maximálním dojezdem 132 km.

Jednotlivé parametry modelu a omezující podmínky jsou tedy:

1. Nabíjecí stanice v dosahu max 66 km od každé obce (města).
2. Maximální využití stávajících logistických parků a objektů.
3. Umístění nových lokací nabíjecích stanic takto.
 - **Umístění v blízkosti plánu výstavby ŘSD** zajistí přístupnost nabíjecích stanic pro dopravní společnosti zejména v oblastech s vysokou intenzitou dopravy a může podporovat rozvoj infrastruktury pro nákladní elektromobily na klíčových dopravních koridorech.
 - **Umístění do stávajících kapacitních parkovacích ploch pro nákladní dopravu** umožní nabíjení nákladních elektromobilů v místech, kde dochází k odpočinku řidičů a je tedy možné nabíjet během této doby.
 - **Umístění do průmyslových objektů** zvýší dostupnost a možnost nabíjení při vykládkách a nakládkách čímž se sníží možné prostoje vozidla související s nabíjením baterií.
 - **Umístění ke stávajícím čerpacím stanicím** zvyšuje dostupnost nabíjecí infrastruktury v blízkosti tradičních čerpacích stanic pro společné využívání stávající infrastruktury.
 - **Umístění v obci (městě)** může představovat efektivní a udržitelné řešení nákladní dopravy a současně může zvyšovat dostupnost pro místní obyvatele a firmy.
 - **Minimalizace umístění na „zelené louce“** podporuje udržitelný rozvoj elektromobility bez zbytečného narušování přírodních lokalit.

Vstupní data modelu:

- Obce v České republice (6254 obcí, měst a městských částí).
- Okresy v ČR (76 okresů a 15 obvodů Prahy).
- Logistické a skladovací parky (294) (CBRE, 2022).
- Plán výstavby ŘSD pro Českou republiku.

Použitý vzorec pro určení souřadnic (x, y) vychází z metody kvadratické metody lokalizace objektu

Zeměpisná šířka x

$$x = \frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij})}{x_{ij}} \quad (75)$$

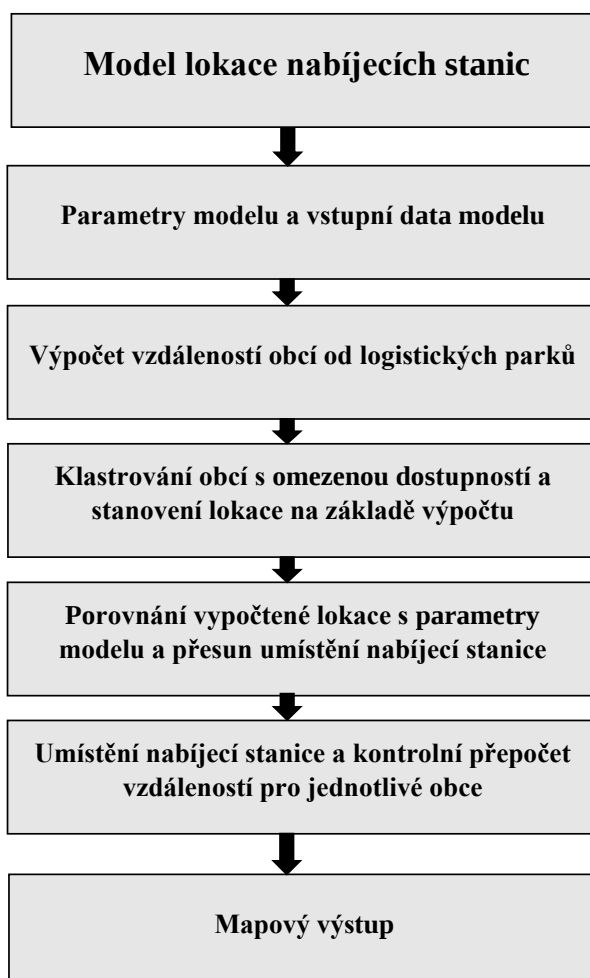
Zeměpisná délka y

$$y = \frac{\sum_{j=1}^n (y_{ij})}{y_{ij}} \quad (76)$$

4.2.2 Lokace nabíjecí stanice s využitím logistických center

Postup řešení nalezení ideální lokace je zobrazen na obrázku č.11., Diagram graficky ukazuje jednotlivé kroky postupu nalezení ideální lokace nabíjecí stanice na základě vstupních parametrů a omezující podmínek modelu.

Obrázek 8 Popis řešení nalezení nabíjecí stanice



Zdroj: vlastní zpracování

V prvním kroku bylo nutné stanovit obce s omezenou dostupností na základě vzdáleností. Kdy byla dojezdová vzdálenost k nejbližší lokaci logistického parku stanovena více jak 66 Km (132 Km/2) se zohledněním kapacitní rezervy baterií. Celkem bylo nalezeno 165 obcí s omezenou dostupností k možné nabíjecí stanici. Přehledová tabulka uvádí počet obcí, počet stávajících logistických areálů a počet obcí s omezenou dostupností. Použitý kilometrovník je přiložen v příloze a může být ovlivněn na základě aktuální průjezdnosti trasy (dotaz na vzdálenost byl pomocí dotazu webové služby a pokud byla na dané trase objížďka z důvodu rekonstrukce, může být celková vzdálenost ovlivněna tímto omezením)

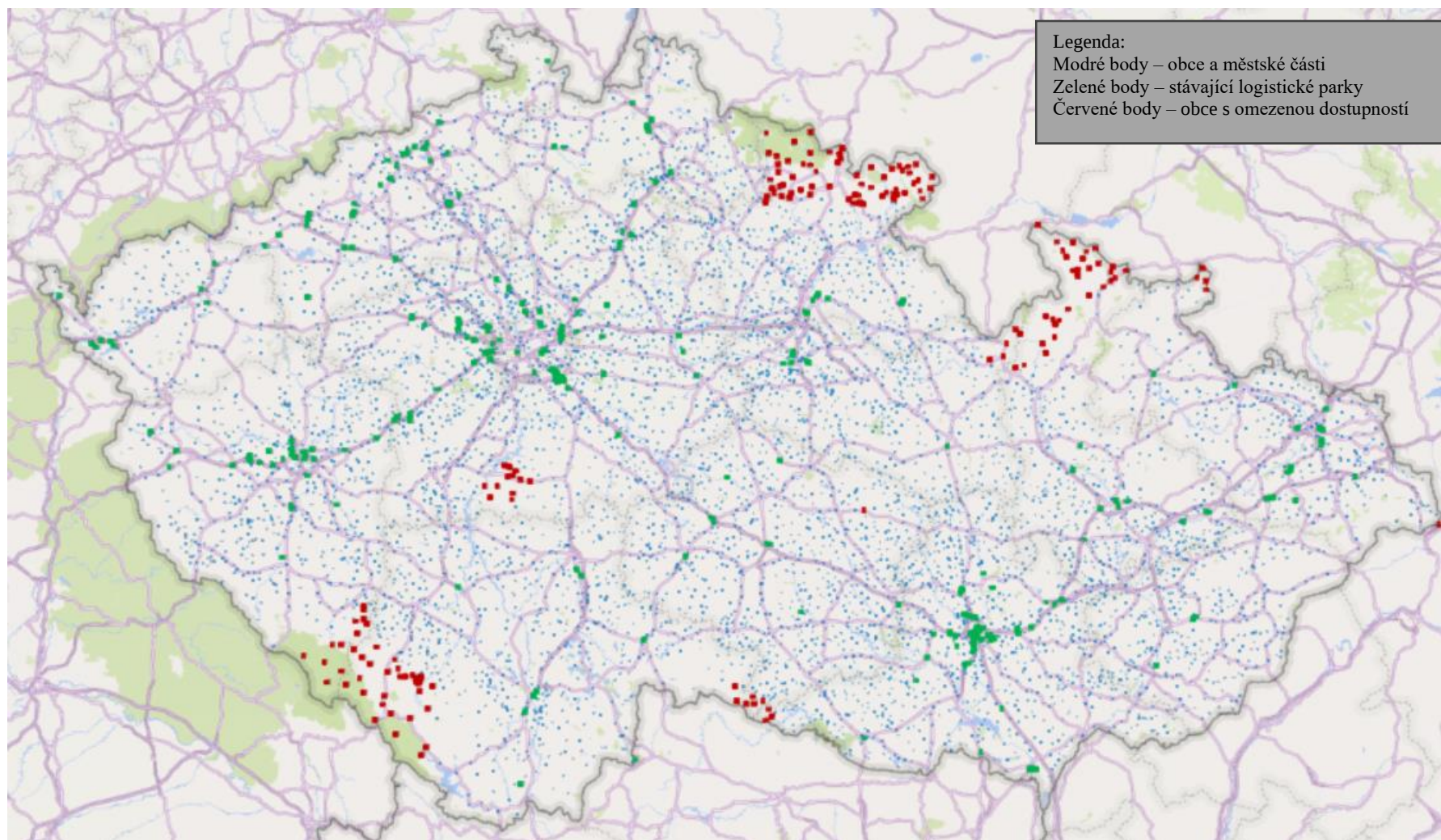
Tabulka 1 Vstupní data modelu

Kraj	Okres	Počet obcí	Počet logistických parků	Počet obcí s omezenou dostupností	Kraj	Okres	Počet obcí	Počet logistických parků	Počet obcí s omezenou dostupností
Hlavní město Praha	Hlavní město Praha	57			Pardubický kraj	Chrudim	108	1	
	Praha	1	32			Pardubice	120	7	
Jihočeský kraj	České Budějovice	109	3			Svitavy	116	1	
	Český Krumlov	46	1			Ústí nad Orlicí	115		4
	Jindřichův Hradec	106	2	4	Plzeňský kraj	Domažlice	84		
	Písek	75				Klatovy	94	1	12
	Prácheň	65		29		Plzeň-jih	90	5	
	Strakonice	112				Plzeň-město	25	13	
	Tábor	110	2			Plzeň-sever	98	5	
	Blansko	116	2			Rokycany	68	2	
Jihomoravský kraj	Brno-město	30			Středočeský kraj	Tachov	51	3	
	Brno-venkov	187	6			Benešov	114	6	
	Břeclav	63	4			Beroun	85	6	
	Hodonín	82				Kladno	100	5	
	Výškov	80	3			Kolín	89	3	
	Znojmo	144	2	3		Kutná Hora	88	1	
Karlovarský kraj	Cheb	40	8			Mělník	69	1	
	Karlovy Vary	54	2			Mladá Boleslav	120	7	
	Sokolov	38				Nymburk	87	2	
Královéhradecký kraj	Hradec Králové	104	6			Praha-východ	110	9	
	Jičín	111	1			Praha-západ	79	7	
	Náchod	78		21		Příbram	121		12
	Rychnov nad Kněžnou	80	2			Rakovník	83	2	
	Trutnov	75		40	Ústecký kraj	Děčín	52	1	
Liberecký kraj	Česká Lípa	57	3			Chomutov	44	6	
	Jablonec nad Nisou	34				Litoměřice	105	4	
	Liberec	60	7			Louny	70	5	
	Semily	65	1	1		Most	26	4	
Moravskoslezský kraj	Bruntál	67	1	4		Teplice	34	9	
	Frýdek-Místek	72	2	1	Vysočina	Ústí nad Labem	27	7	
	Karviná	17	1			Havlíčkův Brod	120	4	
	Nový Jičín	53	3			Jihlava	123	1	
	Opava	85	2			Pelhřimov	120	4	
	Ostrava-město	36	14			Třebíč	167	1	2
Olomoucký kraj	Jeseník	24		21		Zďár nad Sázavou	173	1	1
	Olomouc	96	8		Zlínský kraj	Kroměříž	79		
	Prostějov	97	1			Uherské Hradiště	78	1	
	Přerov	104	3			Vsetín	59		
	Šumperk	78		10		Zlín	89	3	

Zdroj: Vlastní zpracování

Na přiloženém obrázku – Vizualizace logistických areálů a obcí s omezenou dostupností, který je doplněn o jednotlivé obce reprezentující celkové zadání. Jak je patrné z obrázku č. 9. jedná se složitý problém nalezení vhodných míst pro nabíjecí stanice vzhledem k vysoké koncentraci obcí a městských částí.

Obrázek 9 Vizualizace logistických areálů a obcí s omezenou dostupností



Zdroj: Microsoft Excel-Bing, vlastní zpracování

Následně bylo provedeno nalezení ideální lokace na základě požadavků takto:

- Pokud v daném okrese byla nalezena vzdálenost mezi jednotlivými obcemi vyšší jak 66 km a zároveň byla splněna podmínka, že daných obcí je více jak 10. Budou do výpočtu nové lokace zahrnuté pouze tyto obce.
- Pokud v daném okrese byla nalezena vzdálenost mezi jednotlivými obcemi vyšší jak 66 km a zároveň nebyla splněna podmínka, že daných obcí je více jak 10. Budou do výpočtu nové lokace zahrnuté všechny obce.
- Pokud vzdálenost mezi jednotlivými obcemi jsou menší než 66 km, budou zahrnuté do výpočtu všechny obce.
- Pokud je počet obcí menší než 10 obcí v jednotlivém okrese, bude tento okres přiřazen k sousednímu okrese v daném kraji nebo k sousednímu okrese v sousedním kraji, pokud se další obce nacházejí v sousedním okrese
- Pokud byla výsledná lokace ve vzdálenosti více jak 66 km k jednotlivým obcím, bude tento okres rozdělen na dva samostatné „pod okresy“

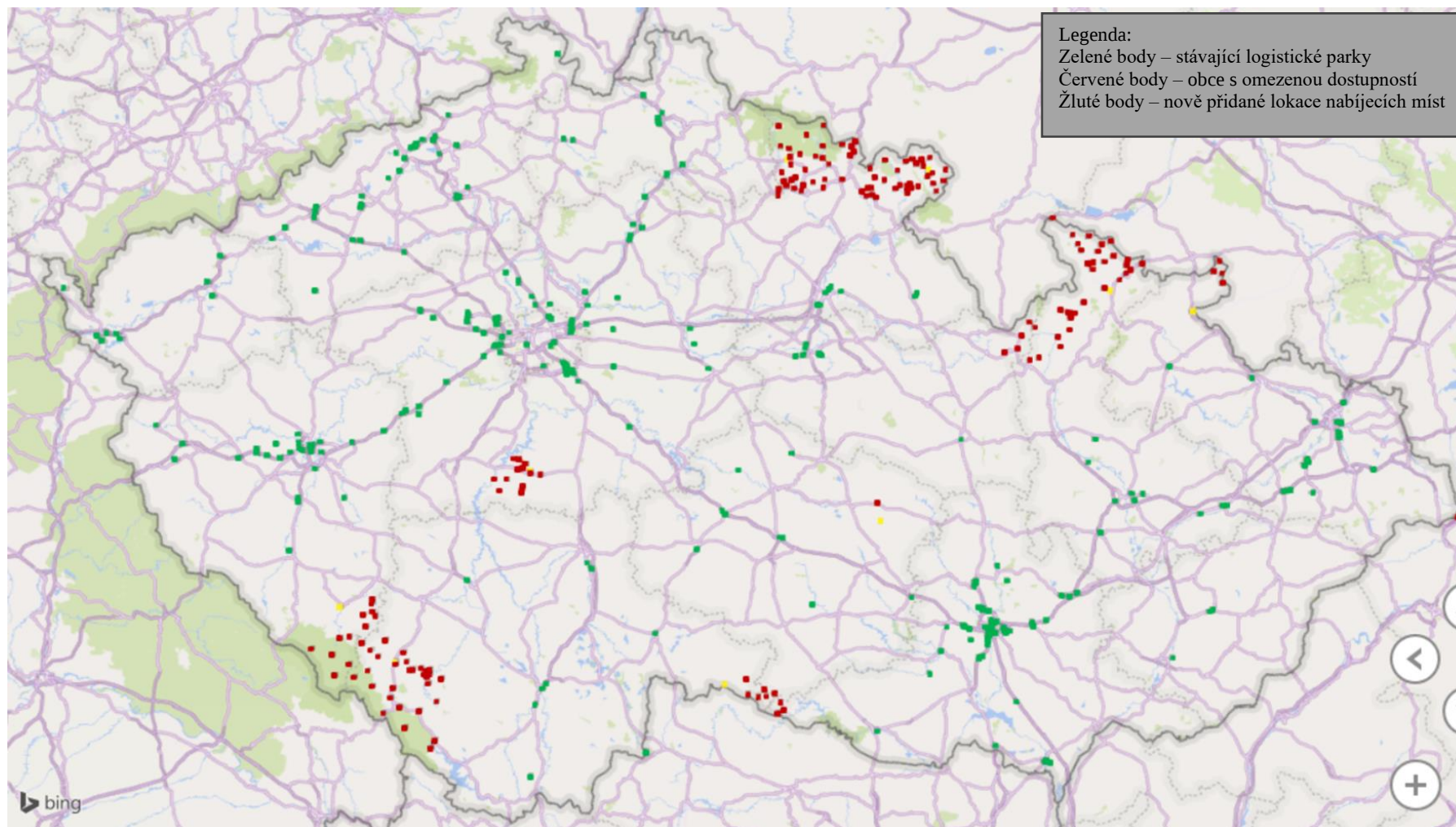
Umístění nabíjecích stanic před následnou optimalizací dle parametrů modelu bylo v prvním kroku bylo umístění nabíjecí stanice do středu obcí, a tak aby splňovalo parametry tedy minimalizace výstavby na zelené louce. Takto bylo určeno 15 nových lokací pro obce s nedostatečnou vzdáleností k nabíjecí stanici. Tabulka zobrazuje nové vypočtené lokace a přemístění na optimální lokace s ohledem na parametry modelu.

Tabulka 3 Optimalizace umístění nabíjecích stanic dle okresů

Okres	Kraj	Vypočtená lokace		Optimalizace umístění	
		Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka
Bruntál _okres	Moravskoslezský kraj	50,27819444	17,70263889	50,15900728	17,57425855
Frýdek-Místek _okres	Moravskoslezský kraj	49,52055556	18,835	49,66998865	18,43487619
Jeseník _okres	Olomoucký kraj	50,31889153	17,14279647	50,22177863	17,1824623
Jindřichův Hradec _okres	Jihočeský kraj	48,97347222	15,49340278	48,99649707	15,34908357
Klatovy _okres	Plzeňský kraj	49,15935185	13,58206019	49,23926958	13,52086933
Náchod _okres	Královéhradecký kraj	50,57414021	16,26445767	50,59070716	16,31858065
Prachatice _okres	Jihočeský kraj	49,0041092	13,82812261	49,06713117	13,78199228
Příbram _okres	Středočeský kraj	49,65310185	14,36555556	49,66692198	14,42349719
Semily _okres	Liberecký kraj	50,531979	15,607598	50,5959925	15,34603183
Šumperk _okres	Olomoucký kraj	50,09652778	16,92830556	50,08062497	16,93685958
Trutnov _okres	Královéhradecký kraj	50,59350694	15,82354861	50,62247994	15,64725362
Třebíč _okres	Vysočina	48,97430556	15,56416667	49,24615051	15,76848675
Ústí nad Orlicí _okres	Pardubický kraj	50,07	16,74597222	49,96600882	16,40498044
Znojmo _okres	Jihomoravský kraj	48,91953704	15,61592593	48,84812086	16,07493434
Žďár nad Sázavou _okres	Vysočina	49,56361111	16,075	49,50952098	16,09027715

Zdroj: Vlastní zpracování

Obrázek 10 Vizualizace umístění nabíjecích stanic pro obce s omezenou dostupností před minimalizací nabíjecích stanic



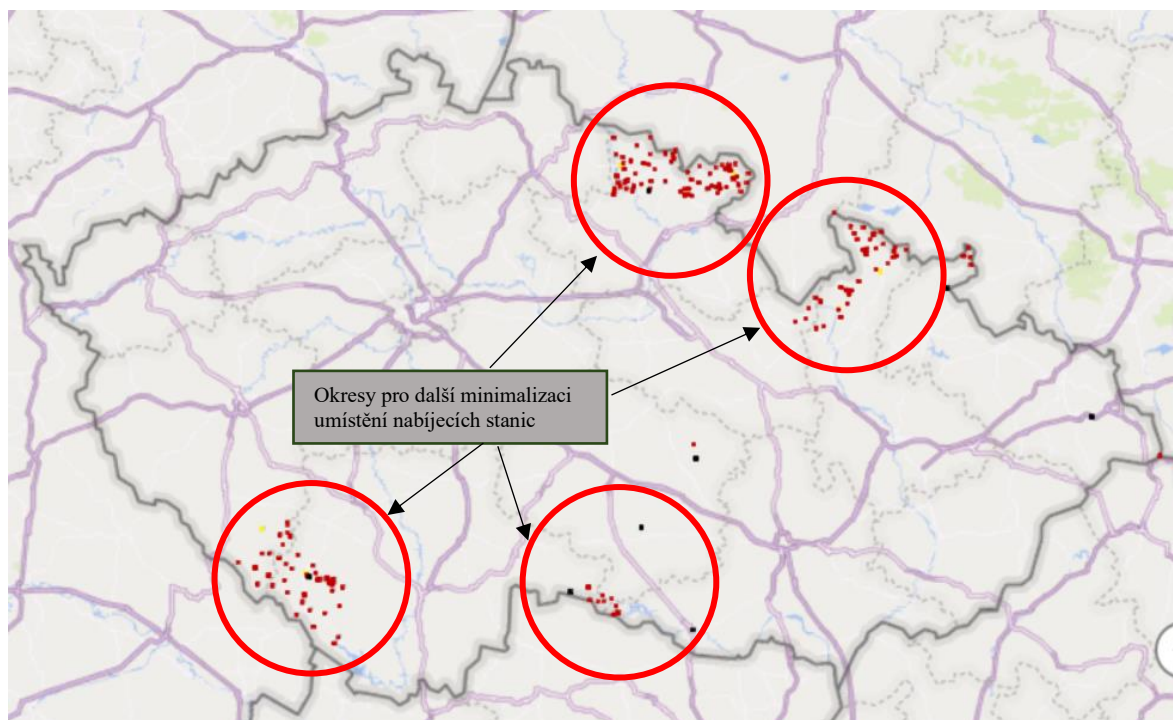
Zdroj: Microsoft Excel-Bing, vlastní zpracování

Jak je patrné z přehledové mapy je možné, že část okresů by se mohla sloučit a tím by se minimalizoval počet nabíjecích stanic. Pro účely další dílčí minimalizace byly určeny tyto okresy (viz obr. 11):

- Okr. Klatovy + okr. Prachatice
- Okr. Náchod + okr. Trutnov
- Okr. Jeseník + okr. Šumperk + okr. Ústí nad Orlicí
- Okr. Jindřichův Hradec + okr. Třebíč + okr. Znojmo

Pro tyto sloučené okresy byl aplikován stejný výpočet tedy stanovení jednotlivých vzdáleností mezi obcemi a vypočtená lokace byla prozkoumána z hlediska parametrů modelu přemístěno na základě parametrů. Následně byl proveden přepočet vzdáleností, zda nové místo je v dosahu 66 km od jednotlivé obce.

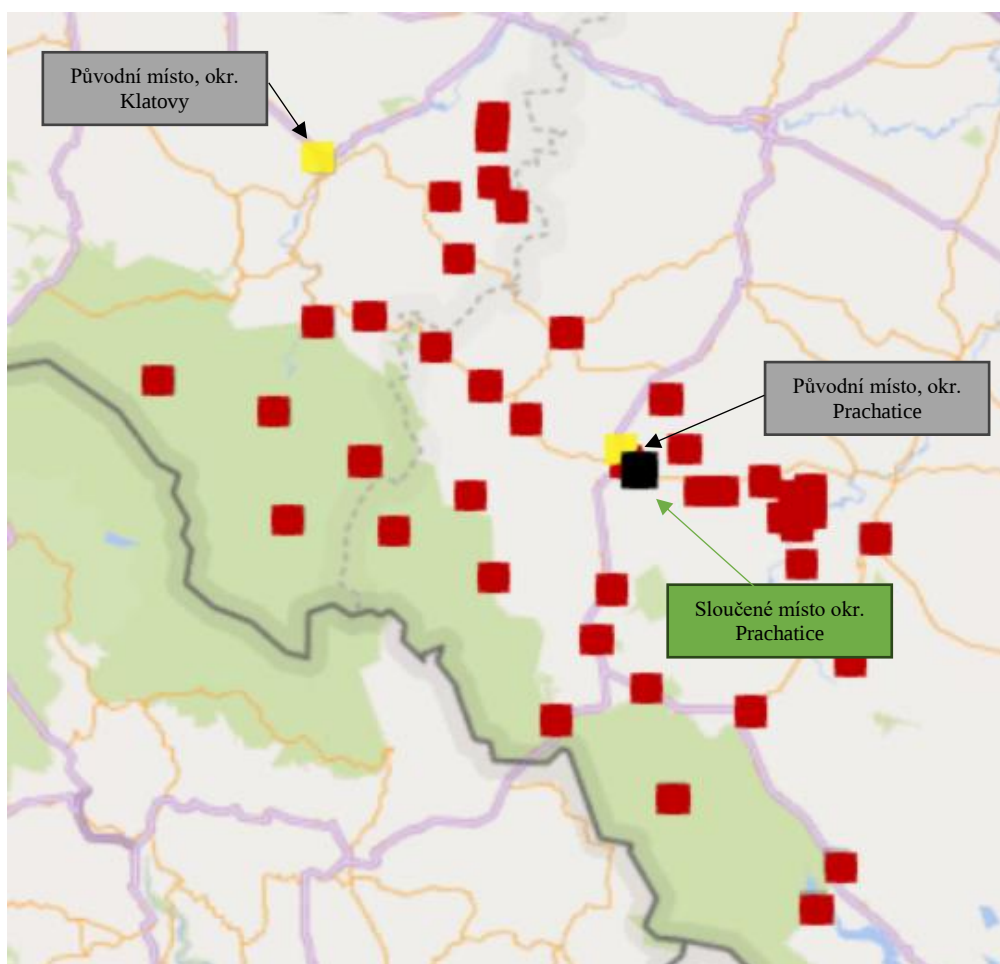
Obrázek 11 Slučování okresů před minimalizací nabíjecích stanic



Zdroj: Microsoft Excel-Bing, vlastní zpracování

Sloučení okr. Klatovy + okr. Prachatice. V původním návrhu před minimalizací byly vytvořeny 2 nabíjecí místa pro každý okres ale sloučením a přepočtením vzdáleností bylo navrženo pouze jedno místo.

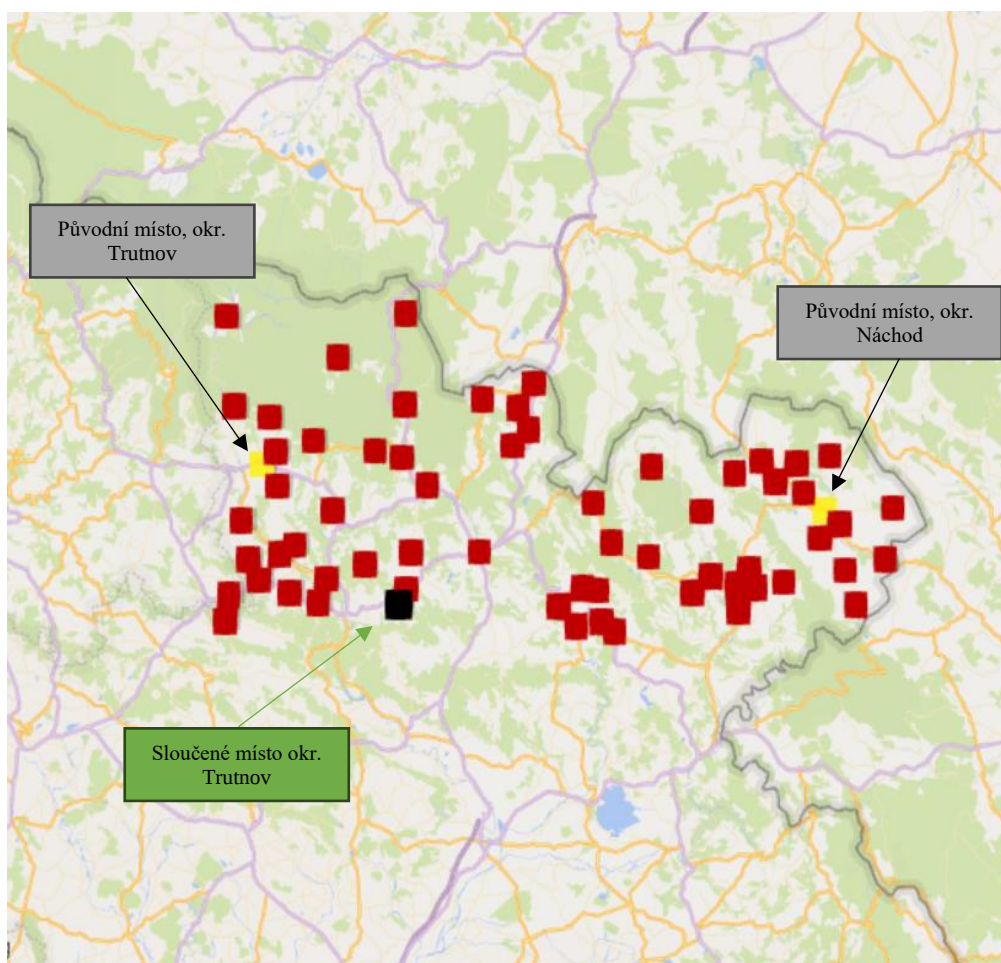
Obrázek 12 Sloučení okresů Klatovy a Prachatice



Zdroj: Microsoft Excel-Bing, vlastní zpracování

Sloučení okr. Náchod a Trutnov opět v původním návrhu jsou umístěné nabíjecí stanice pro každý okres následnou minimalizací a přepočtením vzdáleností bylo umístěno pouze jedno nabíjecí místo pro oba okresy.

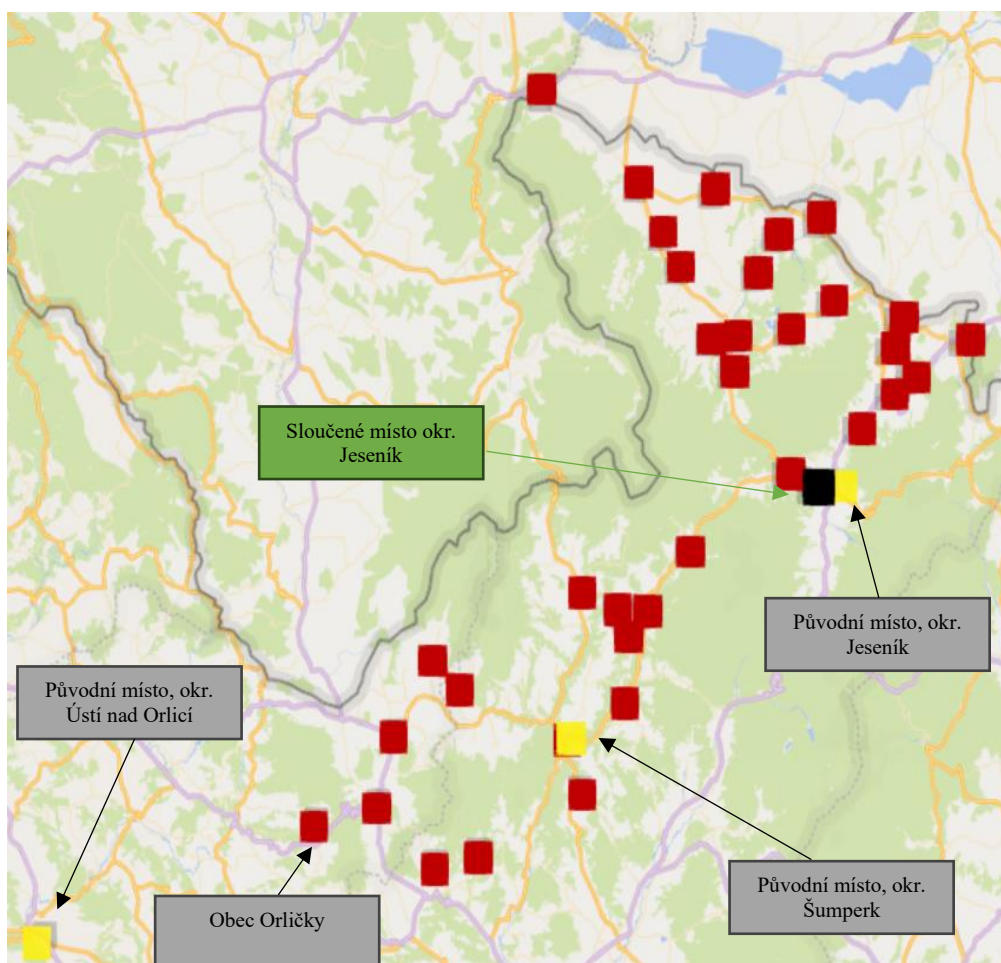
Obrázek 13 Sloučení okresů Trutnov a Náchod



Zdroj: Microsoft Excel-Bing, vlastní zpracování

Sloučení okr. Ústí nad Orlicí, okr. Šumperk a okr. Jeseník opět v původním návrhu jsou umístěné nabíjecí stanice pro každý okres následnou minimalizací a přepočtením vzdáleností bylo umístěno pouze jedno nabíjecí místo pro tři okresy.

Obrázek 14 Sloučení okresů Jeseník, Ústí nad Orlicí a Šumperk

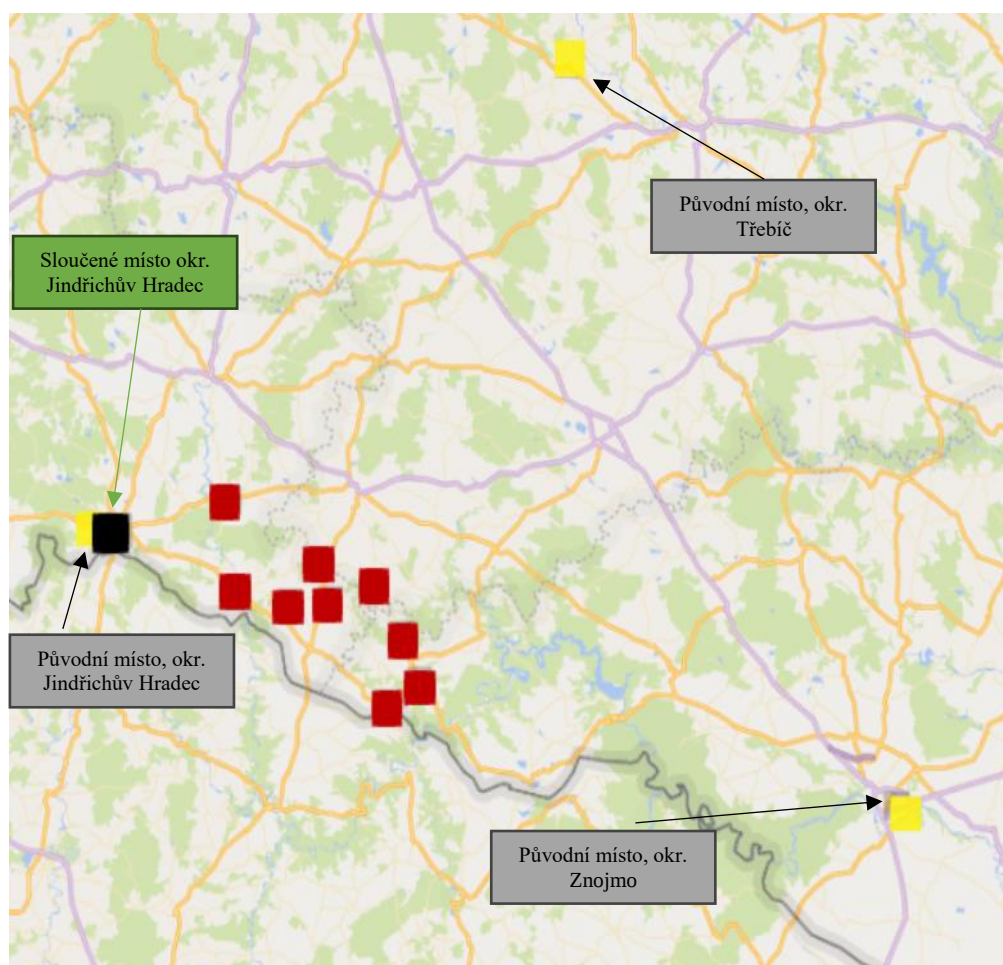


Zdroj: Microsoft Excel-Bing, vlastní zpracování

Dojezdová vzdálenost mezi nabíjecí stanicí v okrese Jeseník a obcí Orličky (okres Ústí nad Orlicí) je 60 km a splňuje parametry modelu.

Sloučení okr. Jindřichův Hradec, okr. Třebíč a okr. Znojmo opět v původním návrhu jsou umístěné nabíjecí stanice pro každý okres následnou minimalizací a přepočtením vzdáleností bylo umístěno pouze jedno nabíjecí místo pro tři okresy.

Obrázek 15 Sloučení okresů Jindřichův Hradec, Třebíč a Znojmo



Zdroj: Microsoft Excel-Bing, vlastní zpracování

Po provedené minimalizaci a sloučení okresů bylo následně vytvořeno pouze 8 nových nabíjecích míst, která splňují všechny parametry modelu.

Tabulka 4 Přehled okresů po minimalizaci

Po minimalizaci okresů			
Okres MM	Kraj	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka
Bruntál	Moravskoslezský kraj	50,15900728	17,57425855
Frýdek-Místek	Moravskoslezský kraj	49,66998865	18,43487619
Jeseník	Olomoucký kraj	50,52522383	15,81181065
Jindřichův Hradec	Jihočeský kraj	48,99649707	15,34908357
Prachatice	Jihočeský kraj	49,05447693	13,79816438
Příbram	Středočeský kraj	49,66692198	14,42349719
Trutnov	Královéhradecký kraj	50,52522383	15,81181065
Žďár nad Sázavou	Vysočina	49,50952098	16,09027715

Zdroj: Vlastní zpracování

Zahrneme-li do plánu výstavby všechny logistické parky a nově umístěné nabíjecí stanice pro obce s omezenou dostupností. Vytvoříme tak 302 nabíjecích lokací pro nákladní elektromobily. Z hlediska kontroly je nutné znovu přepočítat vzdálenosti obcí a zajistit tak, že nově vzniklé lokace jsou v požadované vzdálenosti do 66 km od každé obce.

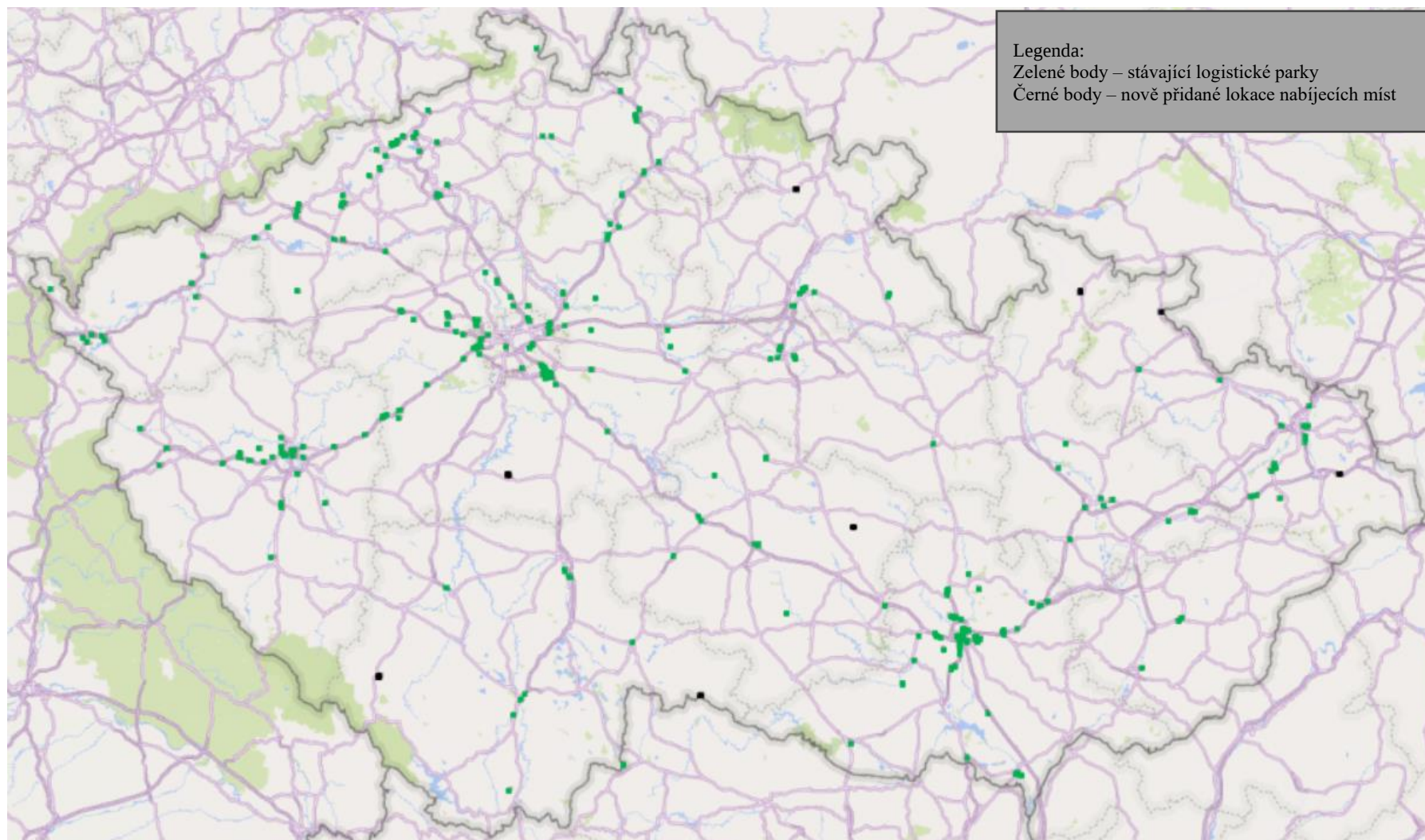
V přehledové tabulce jsou uvedeny nově vzniklé nabíjecí stanice v kontextu stávajících logistických areálů a obcí s omezenou dostupností. Obrázek č. 20 pak vizualizuje celkové řešení 302 možných nabíjecích míst.

Tabulka 5 Přehled nově umístěných míst v kontextu vstupních dat modelu

Kraj	Okres	Počet obcí	Počet logistických parků	Počet obcí s omezenou dostupností	Nově umístěné nabíjecí stanice	Kraj	Okres	Počet obcí	Počet logistických parků	Počet obcí s omezenou dostupností	Nově umístěné nabíjecí stanice		
Hlavní město Praha	Hlavní město Praha	57				Pardubický kraj	Chrudim	108	1				
	Praha	1	32				Pardubice	120	7				
Jihočeský kraj	České Budějovice	109	3		1		Plzeňský kraj	Svitavy	116	1			
	Český Krumlov	46	1					Ústí nad Orlicí	115			4	
	Jindřichův Hradec	106	2	4		Domažlice		84					
	Písek	75				Klatovy		94	1	12			
	Prachatice	65		29		Plzeň-jih	90	5					
	Strakonice	112				Plzeň-město	25	13					
Jihomoravský kraj	Tábor	110	2		1	Plzeň-sever	Plzeň-sever	98	5				
	Blansko	116	2				Rokycany	68	2				
	Brno-město	30					Tachov	51	3				
	Brno-venkov	187	6				Benešov	114	6				
	Břeclav	63	4			Beroun	85	6					
	Hodonín	82				Kladno	100	5					
Karlovarský kraj	Vyškov	80	3		Kolín	89	3						
	Znojmo	144	2	3	Kutná Hora	88	1						
	Cheb	40	8		Mělník	69	1			1			
Královéhradecký kraj	Karlovy Vary	54	2		Středočeský kraj	Mladá Boleslav	120	7					
	Sokolov	38				Nymburk	87	2					
	Hradec Králové	104	6			Praha-východ	110	9					
Jičín	111	1		Praha-západ		79	7						
Náchod	78		21	Příbram		121		12					
Rychnov nad Kněžnou	80	2		Rakovník		83	2						
Liberecký kraj	Trutnov	75		40	1	Ústecký kraj	Děčín	52	1				
	Česká Lípa	57	3				Chomutov	44	6				
	Jablonec nad Nisou	34					Litoměřice	105	4				
	Liberec	60	7				Louny	70	5				
Moravskoslezský kraj	Semily	65	1	1			Most	26	4				
	Bruntál	67	1	4	1		Teplice	34	9				
	Frýdek-Místek	72	2	1	1		Ústí nad Labem	27	7				
	Karviná	17	1		Vysočina		Havlíkův Brod	120	4				
Nový Jičín	53	3				Jihlava	123	1					
Opava	85	2				Pelhřimov	120	4					
Ostrava-město	36	14				Třebíč	167	1	2				
Olomoucký kraj	Jeseník	24		21	1		Žďár nad Sázavou	173	1	1	1		
	Olomouc	96	8		Zlínský kraj	Kroměříž	79						
	Prostějov	97	1			Uherské Hradiště	78	1					
	Přerov	104	3			Vsetín	59						
	Šumperk	78		10		Zlín	89	3					

Zdroj: Vlastní zpracování

Obrázek 16 Vizualizace umístění nabíjecích stanic pro obce s omezenou dostupností po minimalizaci umístění nabíjecích stanic



Zdroj: Microsoft Excel-Bing, vlastní zpracování

4.2.3 Lokace nabíjecí stanice bez využití logistických center

Výše uvedený model počítá s obsazením všech stávajících lokací logistických parků. Což může vést k určité míře nejistoty, zda bude výstavba akceptována ze strany vlastníků areálů. Dále je zde podmínka minimalizace umístění nabíjecích stanic. Za předpokladu, že jednotlivá depa odkud vozidla budou vyjíždět na distribuční trasy budou vybaveny nabíjecí stanicí je možné vybudovat pouze minimální nabíjecí stanice, které vozidlo využije pouze pro nabití akumulátorů potřebné k dojetí do výchozí depa. Abychom mohli provést minimalizaci nabíjecích stanic byla aplikační oblast ČR rozdělena do jednotlivých okresů a jednotlivá místa byla posouzena z hlediska parametrů modelu.

Jednotlivé parametry modelu a omezující podmínky jsou tedy:

1. Nabíjecí stanice v dosahu max 66 km od každé obce (města).
2. Maximální využití stávajících logistických parků a objektů.
3. Umístění nových lokací nabíjecích stanic takto.
 - Umístění podle v blízkosti plánu výstavby ŘSD,
 - Umístění do stávajících kapacitních parkovacích ploch pro nákladní dopravu,
 - Umístění do průmyslových objektů,
 - Umístění ke stávajícím čerpacím stanicím,
 - Umístění v obci (městě).
4. Minimalizace umístění na „zelené louce“.

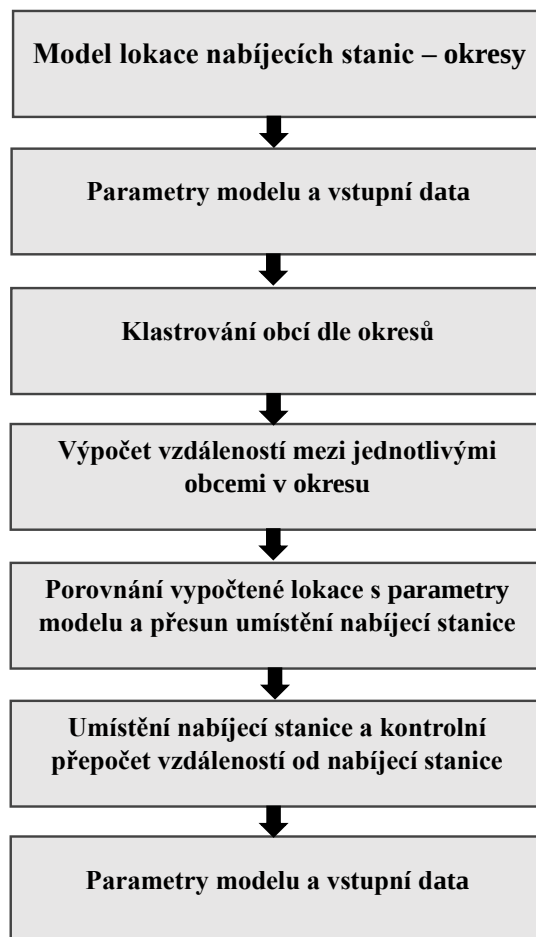
Nově přidaná podmínka

5. Vytvoření stanice v každém okrese.

Nově není výpočet založen na vzdálenostech mezi jednotlivými obcemi v daném okrese ale k nalezení ideálního středu, který bude následně přezkoumán z hlediska parametrů. A jednotlivé obce budou zkontrolovány dle vzdálenosti k nabíjecí stanici pro zajištění podmínky maximální vzdálenosti pro jednotlivé obce 66 Km k nabíjecí stanici a zohledněním kapacitní rezervy baterií.

Postup řešení nalezení ideální lokace je zobrazen na obrázku č.11., Diagram graficky ukazuje jednotlivé kroky postupu nalezení ideální lokace nabíjecí stanice na základě vstupních parametrů a omezujících podmínek modelu.

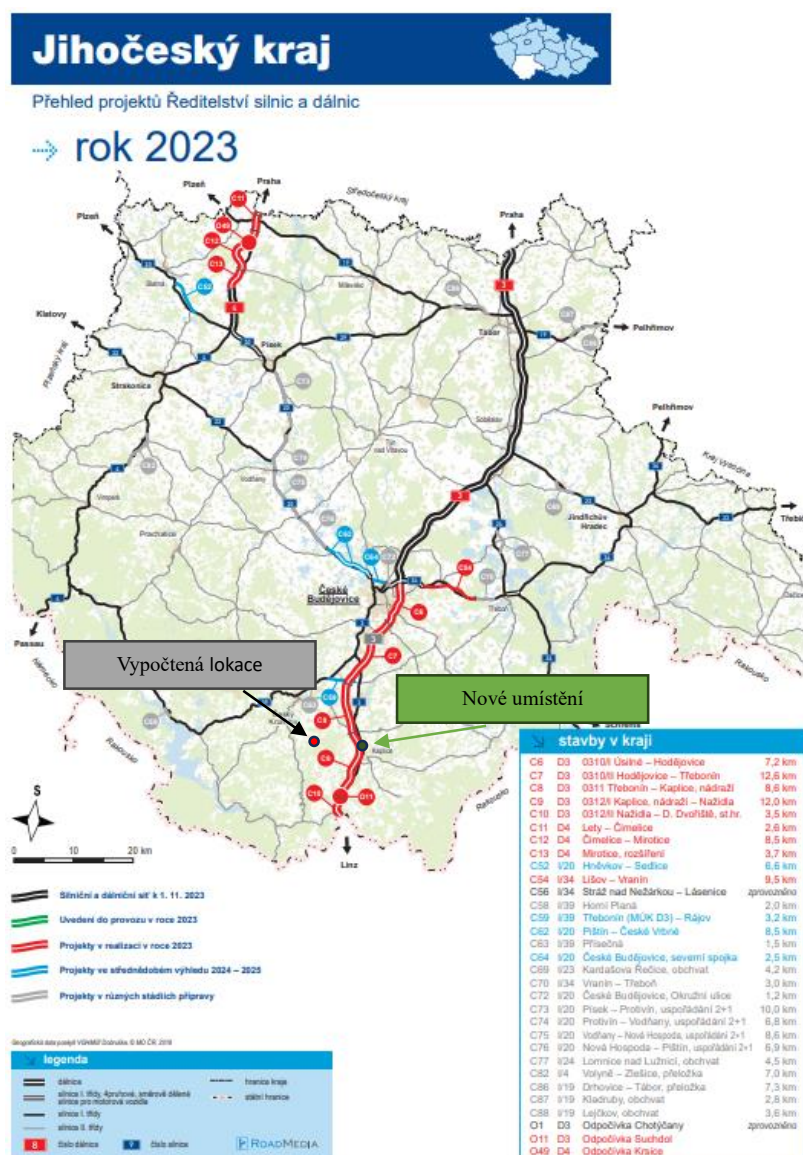
Obrázek 17 Postup řešení nalezení nabíjecích stanic – okresy ČR



Zdroj: vlastní zpracování

Příklad nalezení nabíjecí stanice pro okres Český Krumlov obrázek č 18. Nově vypočítaná lokace se nachází na GPS 48.7658031400966 14.3540277777778 – tedy na místě kde není žádná infrastruktura. Následným přezkoumáním na základě parametrů lze nabíjecí stanici umístit v blízkosti výstavby dálnice D3 Kaplice (silnice D3, 0312/I Kaplice-nádraží – Nažidla)

Obrázek 18 Optimalizace umístění pro Jihočeský kraj



Pro jednotlivé okresy byly následně nalezeny optimální lokace umístění viz přehledové tabulky č. 5.

Tabulka 7 Souhrnný přehled okresů a možných umístění nabíjecích stanic

Okres	Kraj	Vypočtená lokace GPS	Optimalizace umístění GPS	Umístění	ŘSD	Log. Parky	Nové umístění
České Budějovice	Jihočeský kraj	48.9990435300714 14.4976062150867	48.998374294593695, 14.500674883435666	VGP park České Budějovice		x	
Český Krumlov	Jihočeský kraj	48.7658031400966 14.3540277777778	48.738700111462464, 14.481639136974374	Kaplice (silnice D3, 0312/I Kaplice-nádraží - nažidla	C9		
Jindřichův Hradec	Jihočeský kraj	49.1029323899371 15.0622690763958	49.15826077146922, 15.018394284403557	CSP park Jindřichův Hradec		x	
Písek	Jihočeský kraj	49.4007629629629 14.2169037037037	49.32406957995506, 14.12264585344093	Průmyslový park Písek - sever			x
Prachovice	Jihočeský kraj	49.0315769230769 13.9523840996546	49.006249052224, 14.004094688336428	Technické služby Prachovice			x
Strakonice	Jihočeský kraj	49.2673978412698 13.916655535189	49.26809085403066, 13.916279988257353	Průmyslová zóna Strakonice - východ			x
Tábor	Jihočeský kraj	49.3666085858586 14.7019191919192	49.3666085858586 14.7019191919192	Průmyslová zóna Planá nad Lužnicí			x
Blansko	Jihomoravský kraj	49.4688701197318 16.6139210402299	49.502749054092156, 16.57166379226489	Svitávka (silnice I/73 Bořitov - Svitávka)	B6		
Brno-město	Jihomoravský kraj	49.2090287711111 16.5966770096296	49.2274315781185 16.6068830435751	Výrobní prostor Brno Královo Pole		x	
Brno-venkov	Jihomoravský kraj	49.2103707024361 16.4831722350565	49.1786135009455 16.4885307925036	Areál Popůvky		x	
Břeclav	Jihomoravský kraj	48.8830137848325 16.7602056560847	48.941717681562 16.7355437292791	Contera park Hustopeče		x	
Hodonín	Jihomoravský kraj	48.958795200542 17.1907807610644	48.98334535193924, 17.206843029239685	Průmyslová zóna Vracov - západ			x
Vyškov	Jihomoravský kraj	49.2124498701389 16.9746202437873	49.27006825886448, 16.989833057368234	Průmyslová zóna Vyškov			x
Znojmo	Jihomoravský kraj	48.9234926859568 16.092595529855	48.8481208630697 16.0749343439626	Technopark Znojmo		x	
Cheb	Karlovarský kraj	50.0797617555556 12.5053871584212	50.0785922329186, 12.488027925960465	Průmyslový park Lagarde			x
Karlovy Vary	Karlovarský kraj	50.2282656378601 12.9276077951276	50.23333803422221, 12.920114956345735	Olšová Vrata (Silnice D6, Karlovy Vary - Olšová Vrata)	K6		
Sokolov	Karlovarský kraj	50.207514619883 12.6321013334769	50.1670747504447, 12.664564173814263	Tank ONO, Sokolov			x
Hradec Králové	Královéhradecký kraj	50.2358499399573 15.6841754895026	50.26367447687476, 15.74919329036596	Všestary (silnice D35, Sadová - Ploštice)	H8		
Jičín	Královéhradecký kraj	50.4004912375375 15.420803796997	50.43680389582284, 15.430541199769031	Úlibice (silnice Úlibice obchvat D35)	H9		
Náchod	Královéhradecký kraj	50.443621497151 16.1238936313571	50.40879511749787, 16.14294991130502	Náchod (silnice I/33 Náchod obchvat)	H55		
Rychnov nad Kněžnou	Královéhradecký kraj	50.1954476458333 16.2289051083333	50.2127326696699 16.2631134770195	CTP park Kvasiny		x	
Trutnov	Královéhradecký kraj	50.5252238340741 15.8118106503704	50.517357701886866, 15.914897036349673	Silnice (D11 Jaroměř - Trutnov)	H4		
Česká Lípa	Liberecký kraj	50.6738547758285 14.5878937795414	50.6815672466579 14.6283066629367	CTP park Zákupy		x	
Jablonec nad Nisou	Liberecký kraj	50.7038235294118 15.2431045751634	50.726630750875074, 15.157037298917803	Armex Oil - čerpací stanice			x
Liberec	Liberecký kraj	50.7696602925926 15.0399303296296	50.783503857765396, 15.020725391973247	P3 Logistics Park Liberec		x	
Semily	Liberecký kraj	50.5929355988034 15.3603417177778	50.59599250063715, 15.346031833703787	M-Tank Čerpací stanice			x
Opava	Moravskoslezský kraj	49.9115007333333 17.9358997577559	49.9525419500738 17.8573177319481	Skladovací areál Opava		x	
Ostrava-město	Moravskoslezský kraj	49.8150466675926 18.2109095410494	49.81145152490831, 18.278664514026577	P3 Logistics Park Ostrava		x	
Bruntál	Moravskoslezský kraj	50.0393545804312 17.49948126534	49.9862369854418 17.4666652496085	Výrobní areál Bruntál		x	
Frydek-Místek	Moravskoslezský kraj	49.6378181049383 18.4891023657407	49.6699886487702 18.4348761857088	CTP park Nošovice		x	
Karviná	Moravskoslezský kraj	49.8284703333333 18.4763341960784	49.7857895618734 18.2686958925295	CTP park Karviná		x	
Nový Jičín	Moravskoslezský kraj	49.6533607798742 18.0229138322851	49.6043264287328 18.0379768182221	CTP park Nový Jičín		x	
Jeseník	Olomoucký kraj	50.306692125 17.1584191296296	50.22171035351334, 17.182435190815777	Omya CZ. TIR parking			x
Olomouc	Olomoucký kraj	49.6628434259259 17.2198277361111	49.5700614710055 17.2064653180194	P3 Olomouc		x	
Prostějov	Olomoucký kraj	49.4686765722795 17.0459183752968	49.4724990945783 17.1358615572309	VGP Park Prostějov		x	
Přerov	Olomoucký kraj	49.480625 17.567719017094	49.5299890529926 17.6113253374287	CTP park Lipník nad Bečvou		x	
Šumperk	Olomoucký kraj	49.9205982905983 16.9326103988604	49.92079824004427, 16.933497525655163	Silnice (I/44 Bludov obchvat)	M61		
Pardubice	Pardubický kraj	50.0513968612037 15.707377135848	50.0224764596621 15.7242519184918	Sklad Pardubice		x	
Chrudim	Pardubický kraj	49.8726646090535 15.8408616255144	49.1764324890937 16.4065791563446	Výrobní skladovací areál Rosice		x	
Svitavy	Pardubický kraj	49.7489625239464 16.4445351590038	49.7619463375956 16.4747933754979	Industrial park Svítavy		x	

Zdroj: Vlastní zpracování

Okres	Kraj	Vypočtená lokace GPS	Optimalizace umístění GPS	Umístění	ŘSD	Log. Parky	Nové umístění
Ústí nad Orlicí	Pardubický kraj	49.9873260628019 16.4103683758454	49.96600882355566, 16.404980435379716	Čerpací stanice Benzina			x
Domažlice	Plzeňský kraj	49.4804332931217 12.9596917861825	49.45591984348084, 12.867392132372204	Čerpací stanice OMW			x
Klatovy	Plzeňský kraj	49.3261419042553 13.4523479929639	49.4172546286684 13.2770611316181	Panattoni Park Klatovy		x	
Plzeň-jih	Plzeňský kraj	49.5559112797531 13.4427597348726	49.67914050978294, 13.420335491761923	Prologis park Štěnovice		x	
Plzeň-město	Plzeňský kraj	49.7181533226667 13.4319657795556	49.7313207122854 13.3418778820188	CTP Park Plzeň		x	
Plzeň-sever	Plzeňský kraj	49.8729362063492 13.3212469535064	49.7482800367761 13.2182311355335	P3 Myslinka		x	
Rokycany	Plzeňský kraj	49.8058292777778 13.6615526323529	49.7515028763525 13.5777907162016	Arete Rokycany		x	
Tachov	Plzeňský kraj	49.7774291938998 12.8159701004656	49.7491244497555 12.7728017127012	CTP Park Bor u Tachova		x	
Benčov	Středočeský kraj	49.7256945331384 14.8155904586532	49.7997705726431 14.8967588973626	CTP park Divišov		x	
Beroun	Středočeský kraj	49.8973529411765 14.0184210331842	49.9388713745967 14.0274247554962	Business park Králův Dvůr		x	
Kladno	Středočeský kraj	50.2029087111111 14.0987089794894	50.1014887712334 14.1675011840315	Panattoni Park Kladno		x	
Kolín	Středočeský kraj	50.0372025318352 15.0805352651288	50.5090189333124 14.9692946687101	Industrial&Logistics Park Kolín		x	
Kutná Hora	Středočeský kraj	49.872922979798 15.2653661616162	49.9811819263271 15.2741436379983	CTP Park Kutná Hora		x	
Mělník	Středočeský kraj	50.3289344331723 14.4790188612868	50.36575887153597, 14.461551366157138	Mělník Port		x	
Mladá Boleslav	Středočeský kraj	50.4114365512037 14.9186827249848	50.3767264942684 14.8977672442848	CT Park Mladá Boleslav II		x	
Nymburk	Středočeský kraj	50.1912441507024 15.0825820994364	50.1025718638182 14.8199049555807	Industrial park Černíky		x	
Praha-východ	Středočeský kraj	50.0670411470707 14.654803649697	50.0941557236764 14.6182324403674	KKIG park Běchovice		x	
Praha-západ	Středočeský kraj	49.9898813113924 14.3292634998623	50.0310019455139 14.2809222570389	Logport Prague West		x	
Příbram	Středočeský kraj	49.6656103187328 14.1323764251607	49.66975534922981, 14.06142436306577	Slitnice (D4, Háje - Milín)	S8		
Rakovník	Středočeský kraj	50.1087583668005 13.7200701551426	50.10073146470077, 13.712962267114948	Průmyslová zóna Rakovník západ			x
Děčín	Ústecký kraj	50.8328472222222 14.3643108974359	50.78509219233407, 14.361672357246466	Čerpací stanice Robin Oil		x	
Chomutov	Ústecký kraj	50.4229752073232 13.3311074050505	50.4634130046288 13.4024297656159	Panattoni park Chomutov Nord		x	
Litoměřice	Ústecký kraj	50.4755128156614 14.1575334333365	50.5385643309089 14.1280602396497	Industrial park Litoměřice		x	
Louny	Ústecký kraj	50.3076825396825 13.6797579365079	50.3404949198729 13.8249833262216	CTP Park Louny		x	
Most	Ústecký kraj	50.5361965811966 13.6340491452991	50.4846893508002 13.6208172598276	Sklad Most - Čepirohy		x	
Teplice	Ústecký kraj	50.6153349673203 13.8165527375032	50.6615950011326 13.8765478247438	CTP park Teplice		x	
Ústí nad Labem	Ústecký kraj	50.6729517600823 14.053926054321	50.6939604708422 13.9741241792402	CTP park Ústí nad Labem		x	
Havlíčkův Brod	Vysočina	49.676837962963 15.5344990077912	49.7185745640216 15.668436384935	Průmyslová hala Chotěboř		x	
Jihlava	Vysočina	49.3053410992773 15.5388227625113	49.4588520610034 15.6089551415237	CTP Park Jihlava		x	
Pelhřimov	Vysočina	49.4536960944444 15.1669791652322	49.4204137246307 15.218259312499	Logistické centrum Pelhřimov		x	
Třebíč	Vysočina	49.158133754491 15.8874781950169	49.2461505071954 15.7684867506179	CTP Park Okříšky		x	
Žďár nad Sázavou	Vysočina	49.4905249499037 16.0823895529865	49.5095209799026, 16.09027715024577	Proagro Radešinská Svratka			x
Kroměříž	Zlínský kraj	49.2992014198734 17.4497012869198	49.28597574551703, 17.500849154401024	Odpočívka Kurovice D55			x
Uherské Hradiště	Zlínský kraj	49.0460582435898 17.5404418437322	49.0795058767559 17.4808989109728	Arete Uherské Hradiště		x	
Vsetín	Zlínský kraj	49.3607255969868 18.024058346516	49.36158631772494, 17.961360936085267	Technické služby Vsetín			x
Zlín	Zlínský kraj	49.183452045568 17.7717497329588	49.2310783699277 17.6716753069076	Logistické Centrum Zlín Malenovice		x	

Zdroj: Vlastní zpracování

Z patrného přehledu je umístění nabíjecích stanic lokalizováno:

- 9x v lokacích výstavby ŘSD
- 50x v lokacích stávajících logistických parcích
- 17x v nově vzniklých lokacích

Mezi nově vzniklé lokace jsou zahrnuté průmyslové parky, stávající čerpací stanice a parkoviště TIR (Mezinárodní kamionová doprava).

Je nutné zdůraznit, že nově vzniklá místa by museli pokrýt maximální kapacitu po nabíjení a jejich rozloha a přilehlá infrastruktura by musela být prostorově výraznější.

4.3 Vyhodnocení modelů umístění nabíjecích stanic

Oba modely respektují parametry modelu a omezující podmínky ale z hlediska minimalizace se jeví jako přijatelnější model číslo 2. - **Minimalizační model pro nalezení nabíjecích stanic**. Je zde tedy možnost pro vytvoření dvou nabíjecích sítí.

- Primární síť, která zahrnuje 76 nalezených lokací.
- Sekundární síť, která by byla tvořena zbývajících místy z prvního modelu.

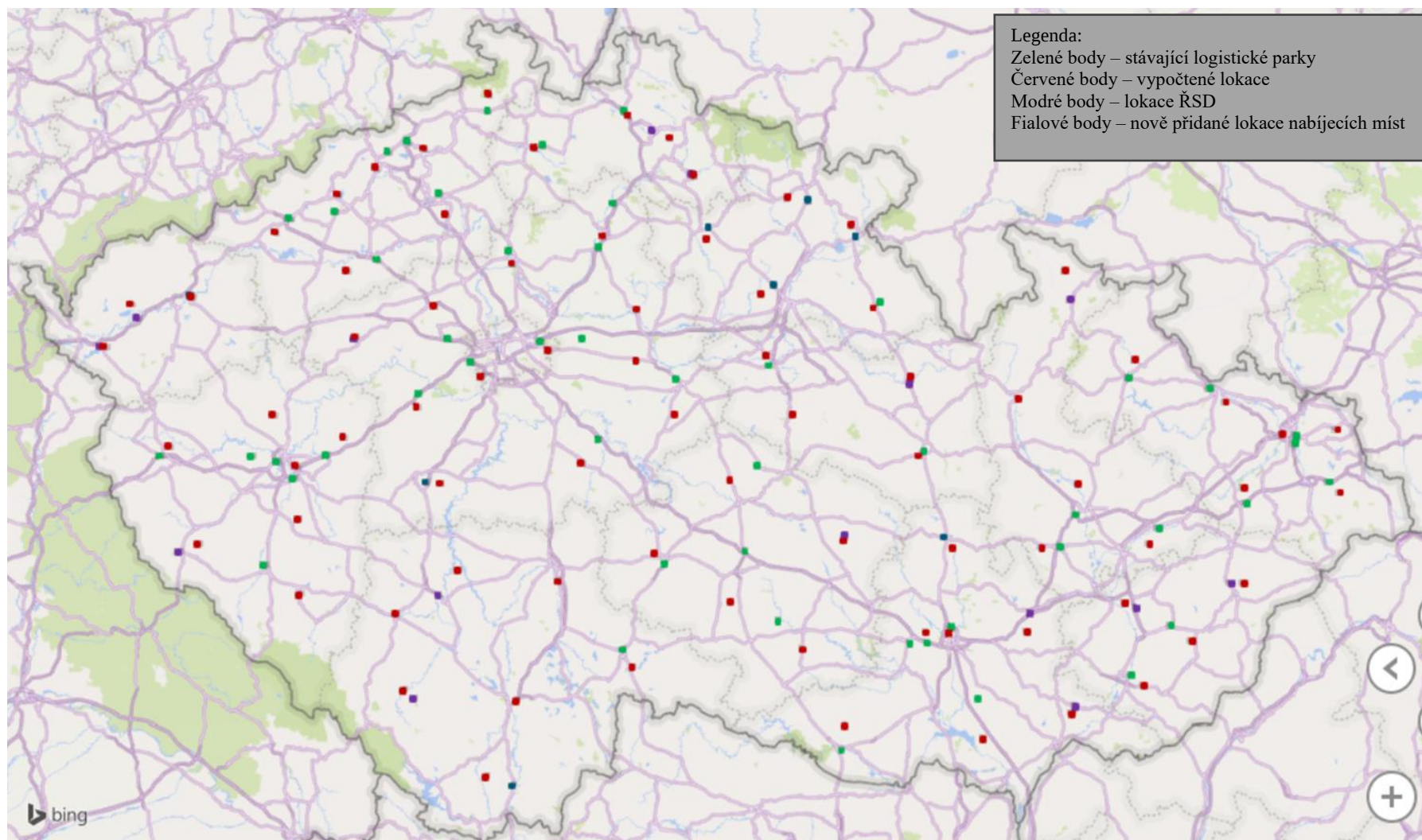
Stejně jako je oblast využití elektromobilů postížena určitou mírou nejistoty i v oblasti nabíjecích stanic je tato nejistota reprezentována určitou neochotou výstavby v nalezených lokalitách.

Na přiložených přehledových mapách (obrázek č. 19.) jsou znázorněné lokace umístění nabíjecích stanic dle možnosti umístění:

- Stávající logistické parky (zelená),
- Nové lokace na základě plánu výstavby ŘSD (modrá),
- Nově přidáné lokace dle omezujících podmínek a parametrů modelu (fialová),
- Vypočtené lokace (červená).

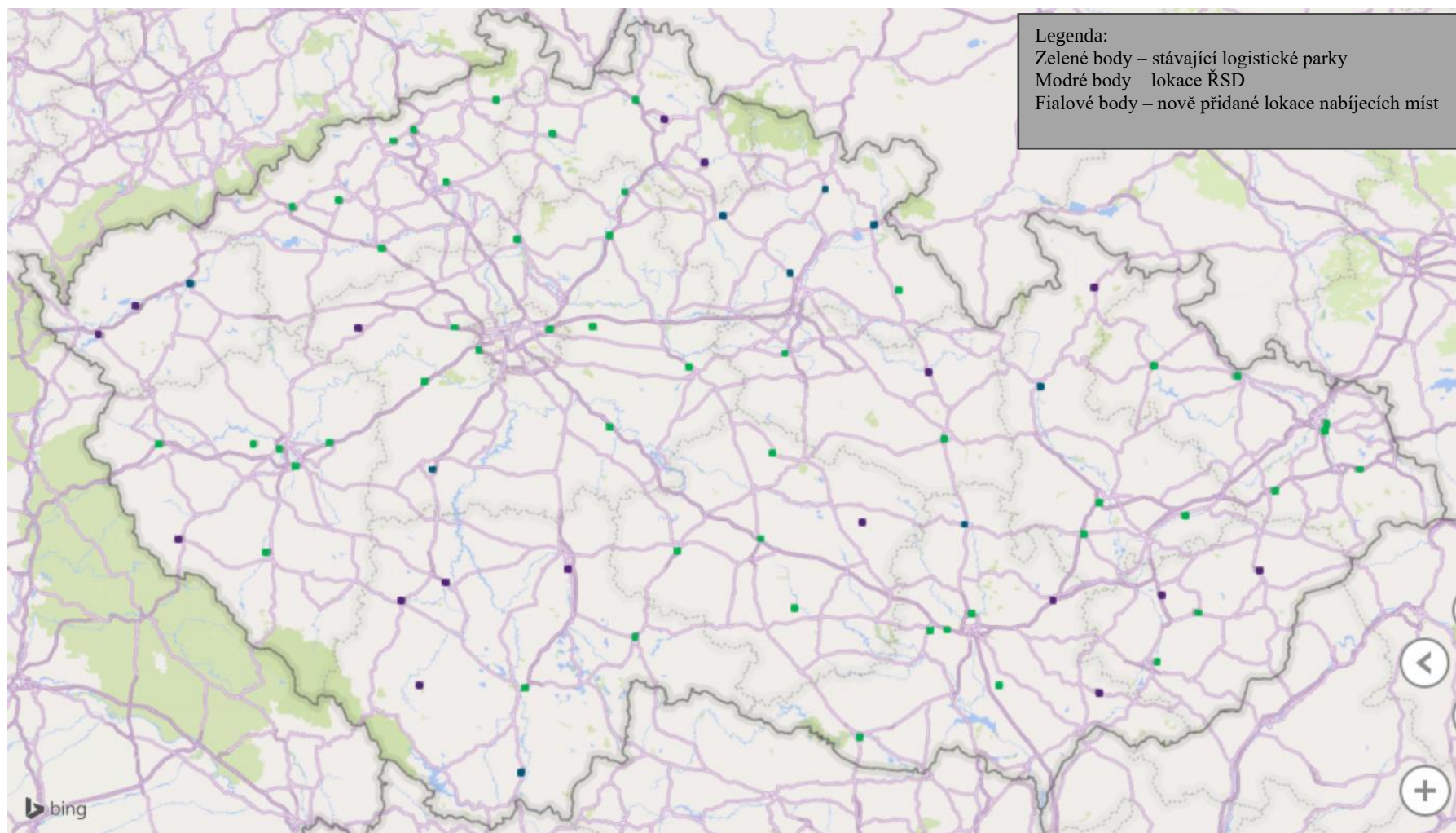
A celkové možné řešení problému umístění nabíjecích stanic na obrázku č. 20.

Obrázek 19 Vizualizace minimalizačního modelu umístění nabíjecích stanic pro okresy ČR



Zdroj: Microsoft Excel-Bing, vlastní zpracování

Obrázek 20 Vizualizace výsledného řešení minimalizačního modelu nabíjecích stanic pro okresy ČR



Zdroj: Microsoft Excel-Bing, vlastní zpracování

4.4 Verifikace umístění nabíjecích stanic pomocí dopravního okružního problému

Možné využití vozidel s alternativním pohonem je spojeno s určitou mírou nejistoty, která spočívá v kapacitě baterií, které udávají maximální dojezd vozidla. Proto je nutné využít znalostí s dopravních okružních problémů a definovat typ modelu, který bude reflektovat omezení spojená s kapacitou a do algoritmu zahrnou i možná nabíjecí místa. Bohužel nejenom vzdálenost bude jedním z omezujících faktorů kapacity baterií ale i zhoršené klimatické podmínky, dopravní situace na trase a hmotnost nákladu. Hovoříme zde o oblasti, které je zatížena určitou mírou nejistoty, a tedy i s určitou nejistotou v oblasti efektivního využití vozidla, pořizovacích nákladů a návratnosti investice. Abychom zjistili, že nově navržené umístění nabíjecích stanic splňuje stanovené parametry a zároveň je vhodné pro nákladní vozidla, je nutné otestovat řešení na reálných datech. Pro ověření na reálných datech byla provedena aplikace umístění nabíjecích stanic pouze v okresech tedy řešení se 76 místy nabíjecích stanic. A byla zvolena metoda dopravního okružního modelu s využitím postupu z Mayerovy metody a převzetím podmínek a z Clarke-Wrightovy metody. V prvním kroku byl proveden výpočet bez aplikace nabíjecích míst, tedy jako pro vozidla s konvenčním pohonem. V druhém kroku byl model doplněn o nabíjecí místa a postup výpočtu kroků pomocí Mayerovy metody byl upraven tak aby v prvním kroku bylo první doručení na základě hmotnosti (klasická metoda počítá se vzdáleností). V druhém kroku už je aplikován standartní postup tedy nalezení dalšího místa nejkratší vzdáleností od první doručovací adresy. Dále byla doplněna možnost dalšího umístění tak, že pokud bude překročena kapacita vozidla při aplikaci nejkratší vzdálenosti od první adresy, může být tato adresa přeskočena a nově bude umístěna další adresa ve vzdálenosti do 30 km od posledního doručení (vzdálenost vychází z 66 km dojezdová vzdálenost k nabíjecí stanici děleno dvěma a započtením kapacitní rezervy 10%) Pokud se tedy bude nacházet další adresa v dosahu 30 km je možné ji zařadit do distribučního plánu za předpokladu, že nedojde k překročení kapacity vozidla. Tento postup byl zvolen, aby mohlo být vozidlo maximálně využito a zároveň se minimalizovali km a použitá vozidla.

4.4.1 Použitý model okružního problému

Pro sestavení vhodného modelu dopravního okružního problému je nutné nejprve definovat všechna místa, která mají být navštívena, mezi které musí být zahrnuté další uzly (lokace nabíjecích míst). Uzly nabíjecích míst budou zahrnuty do algoritmu pouze za předpokladu, že bude nutné navštívit nabíjecí stanice pro bezpečný dojezd a pouze na nezbytnou dobu, která bude sloužit pouze k dobíjení palivových článků pro bezpečný dojezd do výchozího depa, kde dojde k plnému nabití po odstavení vozidla. Zároveň model musí splňovat podmínku minimalizace nákladů. Navržený model navrhuje trasy na základě hmotnosti elementů (zásilek), s ohledem na skutečnost že spotřeba je závislá na celkové hmotnosti naložených elementů. Závislost spotřeby na 100 tkm (tunokilometrů) charakterizuje spotřebu paliva pro ujetou vzdálenost a přepravený element. Lze tedy předpokládat podobnou závislost i pro nákladní vozidla s palivovými články.

$$Q'_{tKm} = \frac{Q'_{100}}{m_N} \quad (91)$$

Kde:

- Q'_{tKm} spotřeba paliva (100 tKm)
- m_N hmotnost elementu (Kg)
- Q'_{100} vzdálenost 100 Km

Jednotlivé omezující podmínky modelu jsou

1. Kapacitní omezení s ohledem na nosnost vozidla
2. Čas potřebný pro nakládku jednoho elementu (t_1)
3. Čas potřebný k vykládce jednoho elementu (t_2)
4. Maximální doba řízení vozidla (legislativní omezení) (t_3)
5. Maximální doba pohybu elementu mimo výchozí uzel (legislativní omezení) (T)
6. Průměrná rychlost vozidla v síti v km/h (C)
7. Celkový počet naložených elementů – paletové místo (q_1)
8. Jednotlivé elementy jsou odeslány z výchozího uzlu daného atrakčního obvodu.
9. Ve výpočtu bude adresa vždy pouze jednou.
10. Distribuční trasy zajistí požadavky všech adres pro doručení.
11. Není stanovena minimální hranice týkající se hmotnosti pro jednotlivé elementy.
12. Vytíženost soupravy nebo kompletu bude maximální.
13. Zahrnutí do modelu nové lokace nabíjecích stanic s ohledem na vzdálenost

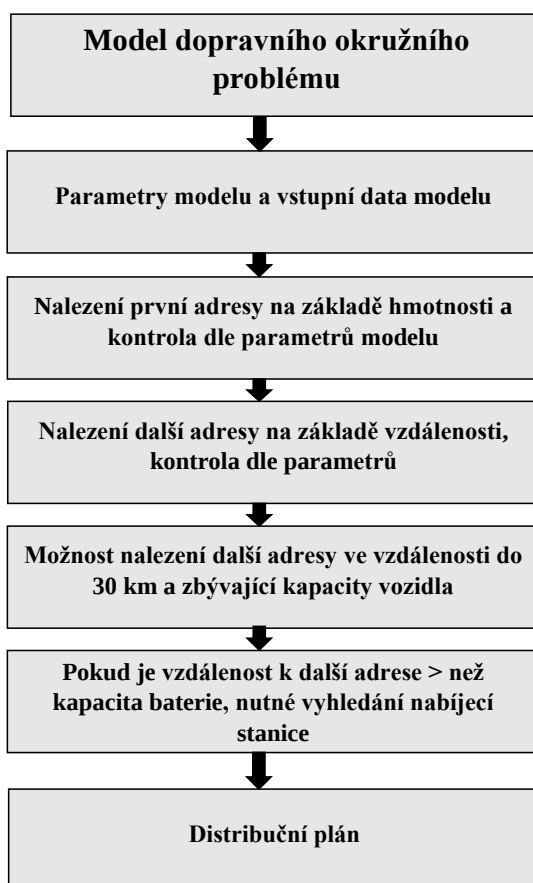
Výpočet modelu je založen na:

- Distribuční plánu pro region Plzeňského kraje ze dne 02.06.2022
- Lokaci nabíjecích stanic určenou navrženým lokačním modelem
- Modifikovaném modelu Mayerovy metody publikovaném v Diplomové práci (Husinec, 2015)

4.4.2 Postup řešení okružního problému

Postup řešení nalezení ideální lokace je zobrazen na obrázku č.23., postup graficky ukazuje jednotlivé kroky stanovení distribučního plánu na základě vstupních parametrů a omezující podmínek modelu.

Obrázek 21 Postup řešení dopravního okružního modelu doplněných o nabíjecí místa



Zdroj: vlastní zpracování

4.4.3 Modifikovaný model Mayerovy metody

Uvedený postup Mayerovy metody zahrnuje pouze kapacitní omezení. Abychom tak simulovali reálný provoz, doplníme metodu o další omezující podmínky. Označení a typ podmínek byl převzat s Clarke – Wrightovy metody a doplníme o podmínku maximální doby řízení obsluhy (Husinec, 2015)

Nově přidané podmínky:

- C průměrná rychlost pohybu kompletu na síti (km/h)
- t_1 doba potřebná k nástupu (naložení) jednoho elementu z obsluhujícího kompletu (min)
- t_2 doba potřebná k výstupu (vyložení) jednoho elementu (min) z obsluhujícího kompletu
- t_3 maximální doba řízení obsluhy (hodiny)
- T maximální doba pobytu kompletu mimo výchozí uzel V_0 (hodiny)

Pro výpočet T využijeme vzorec pro výpočet konstantní rychlosti. Uvažujeme s konstantní rychlostí pohybu kompletu v síti, protože lze údaje o rychlosti zprůměrovat a vytvořit tak konstantní rychlost.

Pro aplikaci problému dopravního kružního problému pro elektrická nákladní vozidla bude do vstupních dat zahrnuty nové lokace nabíjecích stanic z minimalizačního modelu.

Vzdálenostní matice jsou přiloženy v příloze doplnit přílohu č.9 (str. 143)

4.4.4 Aplikace modelu dopravního okružního problému

Tabulka 9 Vstupní data modelu

Datum vykládky	Distribuční uzel	Nakládka	Dodací adresa	Dopravní obslužnost	Město vykládky	PSČ	Hmotnost elementů (Kg)	Počet elementů
02.06.2022	Plzeň	Plzeň, Domažlická	Automaty Servis Selecta	Sólo (2,5-10t, 12-20 pm)	Plzeň	33441	1200	4
			Brabec velkoobchod s.r.o.	Sólo (2,5-10t, 12-20 pm)	Horažovice	34101	2419,92	4
			CORN s.r.o.	Sólo (2,5-10t, 12-20 pm)	Zbůch	33022	644,46	1
			GASTRO Vaizová s.r.o.	Sólo (2,5-10t, 12-20 pm)	Dolní Bělá	33152	5800,87	11
			Instavex s.r.o.	Sólo (2,5-10t, 12-20 pm)	Mýto v Čechách	33805	1230	2
			Jaroslav Brožka	Sólo (2,5-10t, 12-20 pm)	Ledce u Plzně	33014	1030	2
			Mgr. Drahomíra Václavová	Sólo (2,5-10t, 12-20 pm)	Erpužice	34901	6062,82	11
			PEBAL s.r.o.	Sólo (2,5-10t, 12-20 pm)	Nýřany	33023	236	1
			PEKAŘSTVÍ KURIC s.r.o.	Sólo (2,5-10t, 12-20 pm)	Holýšov	34562	1600,02	4
			PEKAŘSTVÍ PERNAREC s.r.o.	Sólo (2,5-10t, 12-20 pm)	Pernarec	33036	440	1
			Restaurace u Krbu	Sólo (2,5-10t, 12-20 pm)	Domažice	34401	192	1
			Restaurant Na statku	Sólo (2,5-10t, 12-20 pm)	Mirošov	33843	169	1
			Rina Europe s.r.o.	Sólo (2,5-10t, 12-20 pm)	Myslinka	33023	134	1
			Velkoobchod Václavík s.r.o.	Sólo (2,5-10t, 12-20 pm)	Žihobce	34201	1227,62	2
Celkový součet							22386,71	46

Zdroj: Vlastní zpracování

V prvním kroku aplikace byla vstupní data analyzována na základě modifikované Mayerovy metody publikované v Diplomové práci. S počátečním krokem optimalizace podle vzdálenosti. Tedy nalezení nejvzdálenějšího uzlu a aplikací omezujících podmínek:

- Maximální kapacita elementů ve vozidle (pro aplikaci modelu použitý typ vozidla o celkové kapacitě 18 paletových míst a nosnosti vozidla 7500 Kg)
- Celková doba řízení vozidla nesmí přesáhnout 9 hodin
- Celková pracovní doba nesmí přesáhnout 13 hodin pracovního výkonu řidiče

Nakládka vozidla je stanovena na 1 hodinu a zahrnuje operace spojené s přistavením, naložením, zajištěním nákladu a převzetím příslušných dokladů k přepravě.

Průměrná rychlost vozidla (kompletu) v síti je stanovena pro 60 Km/ hodině a na základě vzdálenosti je kalkulován celkový čas pro jízdu vozidla.

Průměrná vykládka jednoho elementu je stanovena na 5 minut / 1 manipulační jednotka (mj).

Na základě toho kalkulován celkový čas potřebný pro vykládku elementů v uzlech.

Součtem jízdy vozidla a časů pro nakládku a vykládku je definován celkový výkon řidiče, který nesmí přesáhnout 13 hodin v pracovním dni.

Celkový počet Km v distribučním plánu je 468,21 Km

Celkový strávený čas na trase pro všechny trasy 15 hodin 09 minut

Tabulka 10 Výsledná tabulka modifikované Mayerovy metody aplikace na základě vzdáleností

Trasa I.	Celkem	Omezující podmínky	Nakládka	Žihobce	Horažďovice	Mirošov	Mýto v Čechách	Ledce u Plzně	Depo Plzeň	
Vzdálenost	227,42			82,63	16,85	57,98	15,96	38,50	15,50	
Kapacita PM	9,00	9,00		2,00	4,00	1,00	0,00	2,00		
Kapacita Kg	6076,54	1423,46		1227,62	2419,92	169,00	1230,00	1030,00		
T-jízda 9h	3,79	5,21		1,38	0,28	0,97	0,27	0,64	0,26	
T-výkon 13h	1,50	10,50	1,00	0,33	0,67	0,17	0,00	0,33		
T-Celkový 13h	5,29	7,71		1,71	0,95	1,13	0,27	0,98	0,26	
Trasa II.	Celkem	Omezující podmínky	Nakládka	Erpužice	Pernarec	Depo Plzeň				
Vzdálenost	77,99			39,49	8,79	29,71				
Kapacita PM	12,00	6,00		11,00	1,00					
Kapacita Kg	6502,82	997,18		6062,82	440,00					
T-jízda 9h	1,30	7,70		0,66	0,15	0,50				
T-výkon 13h	2,00	10,00	1,00	1,84	0,17					
T-Celkový 13h	3,30	9,70		2,50	0,31	0,50				
Trasa III.	Celkem	Omezující podmínky	Nakládka	Domažlice	Holýšov	Zbůch	Nýřany	Myslinka	Plzeň	Depo Plzeň
Vzdálenost	115,43			49,73	25,80	14,09	6,30	5,59	8,29	5,64
Kapacita PM	12,00	6,00		1,00	4,00	1,00	1,00	1,00	4,00	
Kapacita Kg	3983,48	3516,52		169,00	1600,02	644,46	236,00	134,00	1200,00	
T-jízda 9h	1,92	7,08		0,83	0,43	0,23	0,11	0,09	0,14	0,09
T-výkon 13h	2,00	10,00	1,00	0,17	0,67	0,17	0,17	0,17	0,67	
T-Celkový 13h	3,93	9,07		1,00	1,10	0,40	0,27	0,26	0,81	0,09
Trasa IV.	Celkem	Omezující podmínky	Nakládka	Dolní Bělá	Depo Plzeň					
Vzdálenost	47,38			23,69	23,69					
Kapacita PM	11,00	7,00		11,00						
Kapacita Kg	5800,00	1700,00		5800,00						
T-jízda 9h	0,79	8,21		0,39	0,39					
T-výkon 13h	1,84	10,16	1,00	1,84						
T-Celkový 13h	2,63	10,37		2,23	0,39					

Zdroj: Vlastní zpracování

4.4.5 Aplikace modelu se zahrnutím nabíjecích stanic

Model pracuje s modifikovanou Mayerovou metodou doplněnou o nabíjecí místa. Aby se předešlo zbytečnému navyšování počtu vozidel byl model upraven o možnost přeskočit uzel, pokud doručovací kapacita přesáhne volnou kapacitu ve vozidle. Vzdálenost mezi přeskakujícími uzly je stanovena pro maximální vzdálenost 30 km. Takto přeskočit uzly je umožněno pouze pro volnou kapacitu vozidla.

Nově přidaná omezující podmínka je ve formě dojezdové vzdálenosti na jedno nabití akumulátorů a je stanovena na 132 km. Po přidání každého nového uzlu je potřeba zkontrolovat, zda nejsou překročeny omezující podmínky a zároveň je splněna podmínka dojezdu nebo případného dojezdu k nabíjecí stanici.

Oproti modifikovanému algoritmu Mayerovy metody nový algoritmus pracuje v prvním kroku s nejvyšší hmotností. Na základě prokázané závislosti, kdy s ohledem na hmotnost elementu je zvyšující se nebo snižující se spotřeba vozidla. Tato myšlenka byla aplikována i pro vozidla s alternativním pohonem, tedy aby nedocházelo ke zbytečnému pohybu v síti s vysokou hmotností, jsou tyto elementy doručeny jako první. Tím bychom mohli navýšit kapacitu baterií. Následně algoritmus postupuje jako u standardní Mayerovy metody, tedy hledá nejbližší uzel na základě vzdálenosti.

Tabulka 11 Nabíjecí stanice v Plzeňském kraji

Okres	Kraj	Umístění	Umístění	ŘSD	Log. Parky	Nové umístění
Domažlice	Plzeňský kraj	49.45591984348084, 12.867392132372204	Čerpací stanice OMW			x
Klatovy	Plzeňský kraj	49.4172546286684 13.2770611316181	Panattoni Park Klatovy		x	
Plzeň-jih	Plzeňský kraj	49.67914050978294 13.420335491761923	Prologis park Štěnovice		x	
Plzeň-město	Plzeňský kraj	49.7313207122854 13.3418778820188	CTP Park Plzeň		x	
Plzeň-sever	Plzeňský kraj	49.7482800367761 13.2182311355335	P3 Myslinka		x	
Rokycany	Plzeňský kraj	49.7515028763525 13.5777907162016	Arete Rokycany		x	
Tachov	Plzeňský kraj	49.7491244497555 12.7728017127012	CTP Park Bor u Tachova		x	

Zdroj: Vlastní zpracování

Přeskakující algoritmus Trasa I.:

V prvním kroku je tedy zařazen element do Erpužic (11 mj; 6062,82 Kg) následuje podle nejbližší vzdálenosti element do Pernarce (1 mj; 440 Kg). Celková kapacita 6502,20 Kg. Další možný element podle vzdálenosti je Dolní Bělá (11 mj; 5800,87Kg). Zde ale dochází jak překročení váhové ale i paletové kapacity vozidla. Proto je přistoupeno k prohledání dalšího uzlu v maximální vzdálenosti 30 Km a je nalezen alternativní uzel Ledce u Plzně (2 mj; 1200 Kg) I zde dochází k překročení kapacity a další možný uzel Nýřany (1 mj; 236Kg) je ve vzdálenosti 28,93 Km, je tedy splněna podmínka vzdálenosti do 30 km.

Zahrnutí nabíjecí stanice – Trasa III.

Trasa začíná umístění elementu do Horažďovic (4mj; 2419,92Kg) následně pokračuje umístěním elementu do obce Žihobce (2mj; 1227,62 Kg). Trasa pokračuje do Domažlic (1mj; 192 Kg), celková ujetá vzdálenost je 155,67 Km. Tedy do vyčerpání kapacity baterie zbývá 24,33 Km. Následně je doplněno do trasy nabíjecí místo v Domažlicích ve vzdálenosti 5,12 Km. Výrobce vozidla uvádí nabití baterie za hodinu na 80% celkové kapacity. Řidič tedy může vykonat bezpečnostní pauzu v délce 1 hodiny. Následně je přepočítána nová dojezdová vzdálenost + připočtení zbývajíc kapacity. Nově stanovená hodnota dojezdu je 163,21 Km a vozidlo tak může pokračovat v plnění distribučního plánu.

Celkový počet Km v distribučním plánu je 463,12 Km

Celkový strávený čas na trase pro všechny trasy 16 hodin 14 minut

Tabulka 12 Výsledná tabulka modifikované Mayerovy metody aplikace na základě hmotnosti s možností přeskočení elementů

Trasa I.	Celkem	Omezující podmínky	Nakládka	Erpužice	Pernarec	Myslinka	Nýřany	Depo Plzeň			
Vzdálenost	89,20	90,80		39,49	8,78	23,34	5,59	12,00			
Kapacita PM	14,00	4,00		11,00	1,00	1,00	1,00				
Kapacita Kg	6872,82	627,18		6062,82	440,00	134,00	236,00				
T-jízda 9h	1,49	7,51		0,66	0,15	0,39	0,09	0,20			
T-výkon 13h	2,34	9,66	1,00	1,84	0,17	0,17	0,17	0,00			
T-Celkový 13h	3,82	9,18		2,50	0,31	0,56	0,26	0,20			

Trasa II.	Celkem	Omezující podmínky	Nakládka	Dolní Bělá	Ledce u Plzně	Zbůch	Depo Plzeň				
Vzdálenost	64,95	115,05		23,69	7,68	23,24	10,34				
Kapacita PM	14,00	4,00		11,00	2,00	1,00					
Kapacita Kg	7475,33	24,67		5800,87	1030,00	644,46					
T-jízda 9h	1,08	7,92		0,39	0,13	0,39	0,17				
T-výkon 13h	2,34	9,66	1,00	1,84	0,33	0,17	0,00				
T-Celkový 13h	3,42	9,58		2,23	0,46	0,55	0,17				

Trasa III.	Celkem	Omezující podmínky	Nový dojezd po nabití	Nakládka	Horažďovice	Žihobce	Domažlice	NB Domažlice	Holýšov	Plzeň	Depo Plzeň
Vzdálenost	216,39	126,82	163,21		66,06	16,85	72,76	5,12	25,98	23,98	5,64
Kapacita PM	15,00	-21,33			4,00	2,00	1,00		4,00	4,00	
Kapacita Kg	6639,56	716,44			2419,92	1227,62	192,00		1600,02	1200,00	
T-jízda 9h	3,61	-162,94			1,10	0,28	1,21	0,09	0,43	0,40	0,09
T-výkon 13h	3,51	8,50		1,00	0,67	0,33	0,17	1,00	0,67	0,67	
T-Celkový 13h	7,11	5,89			1,77	0,61	1,38	1,09	1,10	1,07	0,09

Trasa IV.	Celkem	Omezující podmínky	Nakládka	Mýto v Čechách	Mirošov	Depo Plzeň	
Vzdálenost	92,58	87,42		39,51	15,96	37,11	
Kapacita PM	2,00	16,00		1,00	1,00		
Kapacita Kg	1399,00	6101,00		1230,00	169,00		
T-jízda 9h	1,54	7,46		0,66	0,27	0,62	
T-výkon 13h	0,33	11,67	1,00	0,17	0,17	0,00	
T-Celkový 13h	1,88	11,12		0,83	0,43	0,62	

Zdroj: Vlastní zpracování

4.4.6 Vyhodnocení lokace nabíjecích stanic

Na základě aplikace na reálných datech oba modely prokázaly schopnost využitelnosti pro distribuční dopravu a potvrdily přesnost modelu umístění nabíjecích stanic. Celkové zhodnocení však ukázalo, že model s nabíjecími stanicemi způsobil nárůst doby strávené mimo výchozí uzel o 3 %, což bylo způsobeno dobou strávenou dobíjením vozidla v nabíjecí stanici v Domažlicích. Současně však došlo k poklesu celkové ujeté vzdálenosti o 3 %, a to kvůli vynechání míst, která překračují kapacitu vozidla.

Pro srovnání obou modelů byl jako výchozí stav stanoven skutečný stav ze dne 22.06.2022. I když dopravní model byl použit pouze k ověření lokačního problému, může být metodika dopravního modelu využita jako vedlejší produkt pro další zkoumání.

Tabulka 13 Vyhodnocení modelů

	Celková vzdálenost	Počet využitých vozidel	Celkový čas	KM / výchozí stav	Čas / výchozí řešení
Výchozí řešení_distribuce_ skutečný stav 22.06.2022	478,33	4	15 hodin 49 minut	n/a	n/a
Modifikovaná Mayerova metoda	468,21	4	15 hodin 9 minut	98%	96%
Model založený na váze doplněný o přeskakující algoritmus možné umístění nabíjecích stanic	463,12	4	16 hodin 14 minut	97%	103%

Zdroj: Vlastní zpracování

5 Diskuze

Silniční doprava je zodpovědná přibližně za čtvrtinu současných evropských emisí skleníkových plynů. Těžká nákladní vozidla a autobusy se na emisích skleníkových plynů ze silniční dopravy podílejí 27 % (Eurostat). Legislativa Evropské unie (EU) vyžaduje, aby se emise CO₂ z nově registrovaných těžkých nákladních vozidel do roku 2030 snížily o 30 % ve srovnání se současnou úrovní (EU). Aby tohoto cíle bylo možné dosáhnout je nutné minimalizovat dopad konvenční nákladní dopravy. Analýzy ukazují, že je to možné pouze při použití vozidel s nulovými emisemi, tj. nákladních vozidel na elektrický nebo vodíkový pohon (Breed, Speth a Plötz, 2021). Současný výzkum ukazuje, že chybí nabíjecí infrastruktura, jejíž rozvoj je nezbytný pro rozšíření bateriových elektrických nákladních vozidel (Nykvist a Olsson, 2021). Modely založené na dopravních uzlech jsou tzn. modely p-mediánu, kde jsou nabíjecí stanice umístěné v uzlech tak, aby požadavek sousedních uzlů mohl být splněn s minimální ujetou vzdáleností (Deb, Tammi, Kalita a Pinakeshwar Mahanta, 2018). Tento přístup vychází z Hakimiho algoritmu (Hakimi, 1964), který jej použil k určení optimální polohy policejních stanic v silniční síti. Tento přístup lze tedy použít i pro umístění nabíjecích míst pro elektromobily. U modelů založených na uzlech pokrývá nabíjecí stanice určitou oblast nebo určitou část silnice. Proto se obvykle modeluje poměrně hustá nabíjecí síť s mnoha nabíjecími body. Nabíjecí stanice mohou být umístěny v pravidelných vzdálenostech a jejich velikost může být závislá na intenzitě provozu pro sousední uzly (Speth, Plötz a kol., 2022). Důraz tedy nemusí být kladen na minimalizaci nabíjecích míst ale na jejich dimenzování. Pro aplikaci modelu je vždy vyžadován objem provozu v jednotlivých uzlech (Speth a Funke, 2021).

Pokud bychom ale uvažovali stejným způsobem museli bychom umístit nabíjecí stanice do každého možného místa, a tím bychom odstranili minimalizační podmínku. Tento přístup je možné uplatnit i u nabíjecích stanic pro osobní vozidla, za předpokladu že není centrální místo, kde by mohly být elektrovozy nabíjeny během nočních hodin. Za předpokladu že každá dopravní firma bude mít vlastní nabíjecí stanici, kde bude docházet k nabíjení v nočních hodinách a tím bude minimalizovat dopad neefektivity řidiče a vozidla spojené s nabíjením je dle mého názoru nutné minimalizovat počet nabíjecích míst i s ohledem na umístění a velikost stanice.

Naproti tomu modely založené na dopravních hranách se spoléhají na počet dopravních toků v rámci sítě a řeší pokrytí maxima projíždějícího provozu s minimem stanic. Model umístění

zachycování toku první podskupina modelů založených na cestě (Hodgson, 1990). V roce 2013 byl představen model nabíjecích stanic pro Barcelonu kde došlo k umístění pouze 27 nabíjecích stanic, který by zabezpečil poptávku 92 % uvažovaných toků (Rios, Ramos a Zambrano, 2015) Obecná myšlenka umístění tak, aby bylo možné dodat maximum do předem známých cest, tedy systémem start-cíl s pevným počtem stanic, zůstává stejná (Kuby a Lim, 2005; Lim a Kuby, 2010). Stejný model byl využitý i pro vozidla poháněná vodíkem, kombinovaný s modelem omezující počet nabíjecích stanic tak aby se zabránilo velkým nerealistickým stanicím (Kluschke a kol., 2020). Nevýhodou těchto modelů je vysoká výpočetní náročnost a je tedy nutné nějakým způsobem omezit modelování třeba snížením oblastí pro které hledáme vhodné umístění nabíjecích stanic (Jochem, Szimba a Reuter-Oppermann, 2019).

Pokud umístíme nabíjecí stanici pouze na hranách dopravní sítě s maximálním dopravním tokem, může mít problém v budoucnu s omezeným zásobováním v okrajových oblastech nebo v oblastech které nebudou uvedeny jako hrany s maximálním dopravním tokem. Optimální model umístění nabíjecích stanic by měl zahrnovat všechny uzly reprezentované jednotlivými obcemi, městy nebo městskými částmi.

Model založený na geografických vlastnostech bere v úvahu individuální jízdní profily a lokalizuje nabíjecí stanice tak, aby odpovídaly geografickým vlastnostem trasy. Zatímco úroveň detailů se zvyšuje od modelů založených na uzlech přes modely založené na hranách až po modely založené geografických vlastnostech, zvyšují se také nároky na vstupní data (Speth, Plötz, a kol., 2022). Proto by bylo vhodné mít detailní přehled o pohybu nákladních vozidel a tomu přizpůsobit umístění nabíjecích stanic. Pro přesnější modelování infrastruktury pro nákladní automobily, lze využít i data z GPS, která jsou založená průjezdu a datech z jednotlivých cest a vzdálenosti (Whitehead a kol., 2022). Právě s využitím modelu založeného na trase byla modelována infrastruktura vodíkových čerpacích stanic pro nákladní vozidla v Německu (Kluschke a kol., 2020). Analýza byla založena na 2655 trasách. A vzniknul tak model 100 vodíkových čerpacích stanic, kterými lze obsloužit 13000 Km dálnic.

Využití dat z GPS ale postihne pouze hlavní trasy, tedy infrastrukturu mezinárodní silniční a dální sítě. Umístěním nabíjecích stanic na této infrastruktuře by bylo vhodné pro mezinárodní dopravu a však pro distribuční dopravu. A vzhledem k umístění České republiky je možné využít část kapacitní dopravní infrastruktury k umístění nabíjecích stanic

Vzhledem k tomu, že se v EU v současné době diskutuje o celoevropské síti dobíjecích stanic pro nákladní automobily, je velmi důležité vytvořit si představu o tom, jak by taková síť mohla vypadat v příštích několika letech, je tedy nutné nejprve analyzovat dopravní toky a oblasti kde dochází k vyšší poptávce po doručovacích službách. Následné umístění nabíjecích stanic by mohlo reflektovat i poptávku po těchto službách.

Současně bylo zjištěno, že některé problémy s umístěním lokací lze vyřešit již stávajícími modely, protože požadavky na doplňování konvenčního paliva neagregují pouze v pevných uzlech dopravní sítě, ale analyzují umístění na základě dopravních toků při průchodu sítí (Hodgson, 1990). Který na základě toho formuloval model umístění, který zohledňoval průchod sítí, tak aby bylo dosaženo maximálního pokrytí sítě. Tato práce byla později rozšířena Hodgsonem a Rosingem (1992), kteří daný model rozšířili o požadavky založené na toku na jednotlivých hranách dopravní sítě. Model umístění čerpacích stanic poskytuje nový pohled na řešení problému a umístěním infrastruktury čerpacích stanic. Tento přístup se však opírá o předpoklad, že jedna stanice umístěná na trase bude obsluhovat všechny projíždějící vozidla. Tento předpoklad není vhodný pro vozidla s alternativním palivem, protože tato vozidla ujedou menší vzdálenost s ohledem na kapacitu baterie, a tedy vyžadují častější dobíjení s ohledem na celkovou vzdálenost. Tento problém se pokoušeli vyřešit modelem, který částečně vycházel z modelu sestaveného Hodgsonem (1990), a který zahrnoval dvě fáze. V první fázi získali sadu míst, kde jsou již umístěné čerpací stanice, kterou ve druhé fázi doplnili o optimální místa s ohledem na dojezd a kapacitu baterií osobních elektromobilů. K řešení daného problému bylo využito heuristických algoritmů doplněných o substituční a genetické algoritmy.

Jak je patrné ze současné metodiky je umístění nabíjecích stanic složitý problém, který musí zahrnovat data jak z dopravních proudů, tak i data z poptávky po doručení zboží a musí uvažovat i s ohledem že je možné nabít akumulátory pouze potřebnou kapacitou pro dojetí do výchozího depa a není nutné nabíjet baterie na 100 % kapacity na trase (Husinec a kol., 2024).

6 Závěr

Cílem této disertační práce bylo navrzení možného umístění nabíjecích stanic pro nákladní elektromobily s využitím stávající infrastruktury a s ohledem na úsporu nákladů a zvýšení celkové efektivity při nabíjení a distribuci zboží, analyzovat stávající distribuční model a navrhnout případné nové pojetí řešení distribuční sítě, s ohledem na úsporu nákladů a zvýšení efektivity pro distribuci elementů.

Jedním z hlavních faktorů socioekonomického rozvoje regionu, která je rozvinutá distribuční síť, která je klíčová pro rozvoj regionu k zajištění dopravní obsluhy regionu. Avšak celková nejistota při zavádění možné elektromobility může v konečném důsledku působit negativně na dopravní a logistické společnosti. Proto je potřeba ve spolupráci všech stran navrhnout takové řešení, které bude v konečném důsledku přijatelné pro všechny a bude mít minimální dopad do cen pro konečného spotřebitele jako další přidanou hodnotu. Z pohledu koncového uživatele je potřeba efektivně rozhodovat jaké zboží a v jakém množství si objedná, neboť tím přímo může ovlivnit cenu dopravovaného elementu a dopady do životního prostředí

V rámci řešení daných problémů je nezbytná aplikace logistických a dopravních modelů s cílem optimalizovat rozmístění dobíjecích stanic tak, aby dostatečně pokryly potřeby spojené s nabíjením nákladních vozidel a aby řešení bylo ekonomicky racionální. Možné řešení musí umožnit posouzení efektivity umístění stávajících prvků infrastruktury (logistické parky, odpočívadla a obdobné prvky) či spíše umístění nabíjecí stanice do areálu logistických a dopravních společností, pokud je vypočítané optimální umístění v jeho blízkosti. V případě jeho kalkulovaného umístění zcela mimo tuto strukturu řešení je potřeba analyzovat náklady spojené s výstavbou a zároveň efektivitu celého řešení s ohledem na možný počet nabíjených vozidel. Jako ideální se jeví umístění v již stávajících areálech nebo do míst plánovaných pro dostavbu dálniční sítě a sítě silnic I. třídy v ČR. Pro správné vymezení problematiky je zcela zásadní konstrukce modelu na základě umístění absolutních dep v dopravní síti. Problematika absolutního umístění depa se jeví jako výhodná zejména v případě moderní logistiky, kde se důležité prvky infrastruktury nenacházejí ve městech (uzlech), ale v blízkosti velkých aglomerací podél dálnic, křižovatek apod. V praxi se nejedná o optimalizační úkol, protože celá problematika je ze své podstaty multikriteriální, hledáme proto nejvhodnější řešení – kompromis. Parametry pro vícekritériální hodnocení vycházejí z ANP parametrů uvedených v práci. Po definování problematiky a vyřešení

optimálního umístění absolutního depa/absolutních dep získáme teoretické umístění nabíjecích stanic. V ideálním případě to znamená postavit nabíjecí stanici přesně na určeném místě. Lze odhadnout, že při splnění požadavku na ideální umístění by bylo nutné vynaložit nemalé finanční prostředky na vybudování zcela nových dobíjecích stanic. Toto řešení není finančně přijatelné, neboť by znamenalo kompletní výstavbu převážně nové infrastruktury. Navržené řešení, jak je uvedeno výše, je v předem stanoveném okruhu poblíž identifikovaného bodu s ohledem již existující infrastruktury vhodné pro dobudování nabíjecí stanice. Výsledkem je návrh vhodných bodů v rámci stávající infrastruktury v kombinaci se zcela nově identifikovanými lokalitami. Výběr místa pro nabíjecí stanici je důležitou položkou z hlediska udržitelného rozvoje nákladní dopravy. Abychom mohli definovat vhodné místo, musíme analyzovat řadu různých kritérií, která jsou nezbytná pro definici nabíjecí stanice. Problematika nabíjecích stanic elektrických nákladních automobilů na rozdíl od nabíjecích stanic pro osobní automobily není dosud podrobně rozebrána. Použité metody se zdají být vhodné z hlediska různých kritérií.

Praktickým přínosem disertační práce je výčet omezujících faktorů pro definici nabíjecí stanice pro případného investora, které by musel posoudit při plánování výstavby. Dalším přínosem jsou výsledky práce, které by měly být zapracovány jako část studie proveditelnosti, která by měla být zpracována před samotným rozhodnutím o výstavbě a integrována do strategického rozvoje nákladní dopravy České republiky z hlediska rozvoje a využití nákladních elektromobilů pro distribuční logistiku.

Z výzkumného hlediska byl navržen obecný postup pro lokaci nabíjecích stanic ale i jiných objektů v distribuční síti, který je možné aplikovat i na jiné regiony při zohlednění místních podmínek.

Seznam použité literatury

- Abdulmalek, F. A., and J. Rajgopal. 2007. Analyzing the Benefits of Lean Manufacturing and Value Stream Mapping via Simulation: A Process Sector Case Study. *International Journal of Production Economics*. vol. 107, pp. 223–236.
- Association for electromobility of the Czech Republic (2018). Dostupné z: <http://www.elektromobily-os.cz/úvod-1> (Viděno: 7. leden 2018).
- Ashton, W. D. 1966. Theory of Road Traffic Flow. J. Wiley and Sons, London
- Awasthi, A. et al. 2017. Optimal planning of electric vehicle charging station at the distribution system using hybrid optimization algorithm', *Energy*, 133, pp. 70–78. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.094>.
- Bajdor, P., Pawełoszek, I., & Fidlerova, H. 2021. Analysis and assessment of sustainable entrepreneurship practices in Polish small and medium enterprises. *Sustainability*, 13(7), Article 3595. <https://doi.org/10.3390/su13073595>
- Behnke, M. and Kirschstein, T. 2017. The impact of path selection on GHG emissions in city logistics, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 106, pp. 320–336. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.TRE.2017.08.011>.
- Bektaş, T., & Laporte, G. 2011. The Pollution-Routing Problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 45(8), 1232–1250. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2011.02.004>
- Boldacci, R., Battarra, M., a Vigo, D. 2007. Routing a Heterogeneous Fleet of Vehicles: *ResearchGate [online]*. Cesena, Itálie, [cit. 2021-02-02]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/226187312_Routing_a_Heterogeneous_Fleet_of_Vehicles
- Brandimarte, P., a Zotteri, G. 2007. *Introduction to Distribution Logistics*. New Jersey: Published by John Wiley & Sons. Inc., Hoboken. ISBN 978-0-471-75044-4.

Breed, A. K., Speth, D. and Plötz, P. 2021. CO2 fleet regulation and the future market diffusion of zero-emission trucks in Europe, *Energy Policy*, 159. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2021.112640>.

Brožová, H., Houška, M., 2008. *Základní metody operační analýzy*. 1 vydání. 2 dotisk. Praha: Reprografické studium PEF ČZU v Praze. 245 s. ISBN 80-213-0951-2.

Březina, E., Bínová, H. 2014. *Dopravní logistika*. V Praze: Nakladatelství ČVUT. 458 s. ISBN 978-80-01-05612-7.

Cattaruzza, D. et al. 2017. Vehicle routing problems for city logistics, *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 6(1), pp. 51–79. Available at: <https://doi.org/10.1007/s13676-014-0074-0>

Cox, R. a. Schutte, T. F. 1969. Look at Chanel Management. In: MCDONALD, Philip R. *American Marketing Association: Marketing Involvement in Society and the Economy*, s. 99-105.

CBRE. Komerční-nemovitosti-k-pronajmu-prodeji. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.cbreproperties.cz/lokality/industrial>. [cit. 2022-07-03].

Černý, J., Kluvánek, P. 1991. *Základy matematické teorie dopravy*. 1. vydání. Bratislava: Veda. 279 s. ISBN 80-224-0099-8.

Deb, S., Tammi, K., Kalita, K. and Pinakeshwar. M. 2018. Impact of Electric Vehicle Charging Station Load on Distribution Network, *Energies*, 11(2), p. 178. Available at: <https://doi.org/10.3390/en11010178>

Dekker, R., Bloemhof, J., & Mallidis, I. 2011. Operations research for green logistics – An overview of aspects, issues, contributions and challenges. *European Journal of Operational Research*, 219(3). 671–679. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.11.010>

Dresner, K., & Stone, P. 2006. Multiagent traffic management: Opportunities for multiagent learning. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. 3898 LNAI, 129–138. https://doi.org/10.1007/11691839_7/COVER

- Dzwigol, H., Trushkina, N., & Kwilinski, A. 2021. Green logistics as a sustainable development concept of logistics systems in a circular economy. *37th International Business Information Management Association (IBIMA)*, Cordoba, Spain, 10862–10874. https://www.researchgate.net/profile/Aleksy-Kwilinski/publication/353413345_Green_Logistics_as_a_Sustainable_Development_Concept_of_Logistics_Systems_in_a_Circular_Economy/links/60fae5112bf3553b29094cd4/Green-Logistics-as-a-Sustainable-Development-Concept-of-LogisticsSystems-in-a-Circular-Economy.pdf
- E-Canter. 2018. Dostupné z: <http://www.ecanter.cz/otazky-a-odpovedi> (Viděno: 7. leden 2018).
- Electric mobility – Daimler Global Media Site (nedatováno). Dostupné z: <http://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Electricmobility.xhtml?oid=9265809> (Viděno: 7. leden 2018).
- Fábry, J., 2006. *Dynamické okružní a rozvozní úlohy*: disertační práce. VŠE-FIS, Praha.
- Fábry, J. 2011. *Matematické modelování*. Praha: Professional Publishing. ISBN 978–80–7431–066–9
- Fábry, J. 2017. *Pokročilé matematické modely a metody* [online – webová prezentace]. Mladá Boleslav, 2017 [cit. 2021-02-02]. Dostupné z: <https://nb.vse.cz/~fabry/POV-prezentace.pdf>
- Fetanat, A., & Khorasaninejad, E. 2015. A novel hybrid MCDM approach for offshore wind farm site selection: A case study of Iran. *Ocean & Coastal Management*, 109, 17–28. <https://doi.org/10.1016/J.OCECOAMAN.2015.02.005>
- Fiala, Petr. 2010. *Operační výzkum: nové trendy*. Praha: Professional Publishing. 2010. ISBN 978-80-7431-036-2.
- Gargasas, A., Samuolaitis, M., & Mūgienė, I. 2019. Quality Management Systems In Logistics. *Management Theory and Studies for Rural Business and Infrastructure Development*. 41(2). 290–304. <https://doi.org/10.15544/MTS.2019.24>

Gnann, T., Funke, S., Jakobsson, N., Ploetz, P., Sprei, F., & Bennehag, A. 2018. Fast charging infrastructure for electric vehicles: Today's situation and future needs. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 62. 314–329. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.03.004>

Graham, D. J., & Gibbons, S. 2019. Quantifying Wider Economic Impacts of agglomeration for transport appraisal: Existing evidence and future directions. *Economics of Transportation*. 19. 100121. <https://doi.org/10.1016/J.ECOTRA.2019.100121>

Grauers, A. et al. 2018. *Why Electromobility And What Is It?* Available at: http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/211430/local_211430.pdf (viděno: 3 January 2018).

Gros, I. a kol. 2016. *Velká kniha Logistiky*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. ISBN 978-80-7080-952-5.

Gros, I. a Dyntar, J. 2015. *Matematické modely pro manažerské rozhodování*. 2., upr. a rozš. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. ISBN 978-80-7080-910-5.

Guoqi, L., Fengjun, J., Yu, C., Jinjuan, J., & Sijing, L. (2017). Location characteristics and differentiation mechanism of logistics nodes and logistics enterprises based on points of interest (POI): A case study of Beijing. *Journal of Geographical Sciences* 27(7), 879–896. <https://doi.org/10.1007/s11442-017-1411-7>

Hakimi, S.L. 1964. Optimum Locations of Switching Centers and the Absolute Centers and Medians of a Graph. *Operations Research*, 12(3). pp. 450–459. Available at: <https://doi.org/10.1287/OPRE.12.3.450>

Hall, R. W. 1981. *Driving the Productivity Machine: Production Planning and Control in Japan*. Las Vegas. American Production, Inventory Control Society.

Harris, F.W. 1915. *What quantity to make at once*. The Library of Factory Management, Vol. V. Operation and. A.W. Shaw Company. Chicago. pp. 47–52.

Harrison, A. a van Hoek. R. I. 2008. *Logistics Management and Strategy: Competing Trough the Supply Chain*. Essex: Pretince Hall Financial Times. ISBN 9780273712763.

- He, J., Yang, H., Tang, T. Q., & Huang, H. J. 2018. An optimal charging station location model with the consideration of electric vehicle's driving range. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 86, 641–654. <https://doi.org/10.1016/J.TRC.2017.11.026>
- Hodgson, M.J. 1990. A Flow-Capturing Location-Allocation Model. *Geographical Analysis*. 22(3). pp. 270–279. Available at: <https://doi.org/10.1111/J.1538-4632.1990.TB00210.X>.
- Huang, K., Kanaroglou, P. and Zhang, X. 2016. The design of electric vehicle charging network. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 49. pp. 1–17. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2016.08.028>
- Husinec, M., Strielkowski, W., Vacek, T., Vondráček, M. 2024. Optimizing electric vehicles (EV) charging for enhancing environmental sustainability of freight transport. *Environmental Economics*.
- Husinec, M. 2015. *Analýza distribuční sítě nákladní dopravy*. ČZU v Praze. Diplomová práce. Česká Zemědělská Univerzita v Praze. Vedoucí práce doc. Ing. Milan Houška, Ph.D.
- Husinec, M., Šubrt, T., 2018. Multiple criteria methods for definition of charging stations for freight transport. In: *36th International Conference on Mathematical Methods in Economics (MME)*. University of Economics, Prague Faculty of management. 163-168. ISBN 978-80-7378-372-3
- Husinec, M., Šubrt, T., Fejfar, J., 2020. EOQ as a Tool for Increased Transport Efficiency. In: *38th International Conference On Mathematical Methods In Economics (Mme 2020)*. Brno: Mendel University in Brno Faculty of Business and Economics. 205-210. ISBN 978-80-7509-734-7.
- Jacyna-Gołda, I. and Izdebski, M. 2017. ScienceDirect The Multi-criteria Decision Support in Choosing the Efficient Location of Warehouses in the Logistic Network. *Procedia Engineering*. 187. pp. 635–640. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.424>
- Jedliński, M. 2014. The position of green logistics in sustainable development of a smart green city. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 151. 102–111. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.10.011>

- Jochem, P., Szimba, E. and Reuter-Oppermann, M. 2019. How many fast-charging stations do we need along European highways?, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 73. pp. 120–129. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2019.06.005>
- Karaman, A. S., Kilic, M., & Uyar, A. 2020. Green logistics performance and sustainability reporting practices of the logistics sector: The moderating effect of corporate governance. *Journal of Cleaner Production*. 258. Article 120718. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120718>
- Khan, M. et al. 2011. A review of the extensions of a modified EOQ model for imperfect quality items. *International Journal of Production Economics*. 132(1), pp. 1–12. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.03.009>.
- Kluschke, P. et al. 2020. Optimal development of alternative fuel station networks considering node capacity restrictions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 78. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2019.11.018>
- Kotler, P. 2000. *Marketing podle Kotlera: Jak vytvářet a ovládnout nové trhy*. Management Press. ISBN 9788072610105.
- Kuby, M. and Lim, S. 2005. The flow-refueling location problem for alternative-fuel vehicles. *Socio-Economic Planning Sciences*. 39(2). pp. 125–145. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2004.03.001>
- Kundu, K., & Staudacher, A. P. 2016. Investigation of effectiveness of order review and release models in make to order supply chain. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 81). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/matecconf/20168106003>
- Kurbatova, S. M., Aisner, L. Y., & Mazurov, V. Yu. 2020. Green logistics as an element of sustainable development. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 548. 052067. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/548/5/052067>
- Kutkaitis, A., & Župerkienė, E. 2011. Darnaus vystymosi koncepcijos raiška uosto logistinėse organizacijose [Expression of the sustainable development concept in Klaipėda seaport logistics organizations]. *Vadybos mokslas ir studijos – kaimo verslų ir jūrų*

infrastruktūros plētrai [Management theory and studies for rural business and infrastructure development]. 2(26). 130–137.

Lingaitis, L.P., & Bazaras, D. 2007. *An analysis of reverse and green logistics: theoretical aspects*. Transport: Prace Naukowe, 60, 5–12.

Lim, S. and Kuby, M. 2010. Heuristic algorithms for siting alternative-fuel stations using the Flow-Refueling Location Model. *European Journal of Operational Research*. 204(1). pp. 51–61. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.09.032>

Lodienė, D. 2012. Globalios tiekimo grandinės įtaka verslo organizacijai [Influence of global supply chain for business]. *Management Theory and Studies for Rural Business and Infrastructure Development*. 3(32). 98–105.

Long, J., Zhong, C., Bilal, A., Muhammad, I., & Rabia, N. 2022. How do green financing and green logistics affect the circular economy in the pandemic situation: key mediating role of sustainable production. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 35(1), 3836–3856. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2021.2004437>

Machačka, Filip. Machačka, Ivo. 2015. *Nariadení 561/2006, 165/2014, AETR a české předpisy do kabiny: rukověť řidiče pro země Evropské unie a Českou republiku*. rozšířené vydání. Pardubice: Systemconsult. 123 s. ISBN 978-80-85629-31-6.

Macharis, C., & Kin, B. 2017. The 4 A's of sustainable city distribution: Innovative solutions and challenges ahead. *International Journal of Sustainable Transportation*, 11(2). 59–71. <https://doi.org/10.1080/15568318.2016.1196404>

Mainzová, Eva a Zborník. T. 2001. *Základy operační analýzy*. Plzeň: Západočeská univerzita. ISBN 80-7082-765-3.

Malindžák, D., 2007. *Teória logistiky: definície, paradigmy, princípy, štruktúry*. Košice: Technická univerzita. ISBN 9788080738938.

- Mancini, S. 2017. A combined multistart random constructive heuristic and set partitioning based formulation for the vehicle routing problem with time dependent travel times. *Computers and Operations Research*. 88. pp. 290–296. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.06.021>
- Mccarthy, E. J. a Perreault W. D. 1995. *Základy marketingu*. Praha: Victoria Publishing. ISBN 80-85605-29-5
- Metais, M.O. et al. 2022 Too much or not enough? Planning electric vehicle charging infrastructure: A review of modeling options. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 153. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2021.111719>.
- Mensing, F., Trigui, R., & Bideaux, E. 2011. Vehicle trajectory optimization for application in eco-driving. *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, Chicago, IL, USA, 1–6. <https://doi.org/10.1109/VPPC.2011.6042993>
- Monden, Y. 2011. *Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-in-Time*. New York. CRC Press.
- Montoya, A. et al. 2017. The electric vehicle routing problem with nonlinear charging function. *Transportation Research Part B*. 103. pp. 87–110. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2017.02.004>
- Nickel, S. and Puerto, J. 2006. *Location theory: a unified approach*. Springer Science and Business Media.
- Normasari, N. M. E., YU, V.F., Bachtiyar, C. a Sukoyo. A. 2019. Simulated Annealing Heuristic for the Capacitated Green Vehicle Routing Problem: *Mathematical Problems in Engineering [online]*. vol. 2019, Article ID 2358258: Hindawi. leden 2019 [cit. 2021-02-02]. Dostupné z: <https://www.hindawi.com/journals/mpe/2019/2358258/>
- Novák, R. 2013. *Mezinárodní kamionová doprava a zasilatelství*. 1 vydání. V Praze: C.H. Beck, xx, 282 s., [11] s. obr. příl. ISBN 978-80-7400-514-5.
- Nykvist, B. and Olsson, O. 2021 The feasibility of heavy battery electric trucks. *Joule*. 5(4). pp. 901–913. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.JOULE.2021.03.007>

Pastor, O., Tuzar, A. 2007. *Teorie dopravních systémů*. 1. vydání. Praha: ASPI, 307 s. ISBN 978-80-7357-285-3.

Pečiukėnas, A., Pečeliūnas, R., & Nagurnas, S. 2017. Intelektinių transporto sistemų įtaka kelių transporto priemonių srautų reguliavimui. *Inžinerinės ir edukacinės technologijos [Engineering and Educational Technologies]*. 1. 33–38. <http://dspace.vgtu.lt/handle/1/3589>

Pernica, P. 1995. *Logistika: vymezení a teoretické základy*. 1. vydání, dotisk. Praha: Vysoká škola ekonomická, 210 s. ISBN 80-7079-820-3.

Pernica, P. 1998. *Logistický management: teorie a podniková praxe*. 1. vydání. Praha: Radix, 660 s. ISBN 80-86031-13-6.

Pernica, P. 2005. *Logistika pro 21. století: Supply Chain Management*. Praha: Radix. ISBN 80-86031-59-4.

Pfohl, H. Ch. 1988. *Logistiksysteme: Betriebswirtschaftliche Grundlagen*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-540-50224-1.

Pilík, M., Juříčková, E., Kwarteng, M. A. 2017. On-line shopping behaviour in the Czech Republic under the digital transformation of economy. *Economic Annals-XXI*. 165(165). pp. 119–1235. Available at: <https://doi.org/10.21003/ea.V165-24>

Plevný, M., Žižka, M. 2005. *Modelování a optimalizace v manažerském rozhodování*. 1. vydání. V Plzni: Západočeská univerzita, 296 s. ISBN 80-7043-435-x.

Poullikkas, A. 2015. Sustainable options for electric vehicle technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 1277–1287. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.09.016>

Rios, M.A., Ramos, G.A. and Zambrano, S. 2015. Simulation of the power supply for a flash charging e-BRT system. In 2015 IEEE Workshop on Power Electronics and Power Quality Applications (PEPQA). *IEEE*. pp. 1–6. Available at: <https://doi.org/10.1109/PEPQA.2015.7168216>

Rushton, A., Croucher, P., Baker, P. 2006. *The Handbook of Logistics and Distribution Management*. London: Kogan Page. ISBN 9780749446697.

Ředitelství Silnic A Dálnic ČR. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.rsd.cz/>. [cit. 2023-12-05].

Saaty, T. L. 1994. How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *Interfaces*. vol 24(6). PP. 19–43. DOI: 10.1287/inte.24.6.19

Saaty, T. L. 2008. Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Fisicas y Naturales. Serie A. Matematicas*. vol. 102(2). PP. 251–318. DOI: 10.1007/BF03191825

Sidek, S., Khadri, N. A. M., Hasbolah, H., Yaziz, M. F. A., Rosli, M. M., & Husain, N. M. 2021. Society 5.0: Green logistics consciousness in enlightening environmental and social sustainability. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 842, *3rd International Conference on Tropical Resources Sustainable Sciences*, Article 012053. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/842/1/012053>

Schonberger, R. 1982. *Japanese Manufacturing Techniques*. New York. The Free Press.

Shingo, S. 1988. *Non-Stock Production: The Shingo System of Continuous Improvement*. Cambridge, MA: Productivity Press.

Speth, D., Plötz, P., et al. 2022. Public fast charging infrastructure for battery electric trucks—a model-based network for Germany, *Environmental Research: Infrastructure and Sustainability*, 2(2). p. 025004. Available at: <https://doi.org/10.1088/2634-4505/AC6442>.

Speth, D., Sauter, V., et al. 2022. Synthetic European road freight transport flow data. *Data in Brief*. 40. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.DIB.2021.107786>

Speth, D. and Funke, S.A. 2021. Comparing options to electrify heavy-duty vehicles: Findings of german pilot projects. *World Electric Vehicle Journal*. 12(2). Available at: <https://doi.org/10.3390/WEVJ12020067>

Speth, D., Sauter, V. and Plötz, P. 2022. Where to Charge Electric Trucks in Europe—Modelling a Charging Infrastructure Network. *World Electric Vehicle Journal* 2022. Vol. 13. Page 162. 13(9). p. 162. Available at: <https://doi.org/10.3390/WEVJ13090162>

Steenbrink, P. 1974. *Optimization of Transport Network*. London: J.Wiley.

Svaz Průmyslu A Dopravy České republiky. 2017. *Svaz průmyslu a dopravy České republiky*. Online. 2017. Dostupné z: <https://www.spcr.cz/>. [cit. 2017-12-06].

Svoboda, V., 2004. *Dopravní logistika*. 1. vydání. V Praze: Vydavatelství ČVUT, 115 s. ISBN 80-01-02914-x

Svoboda, V. 2006. *Doprava jako součást logistických systémů*. 1. vydání. Praha: Radix, 148 s. ISBN 80-86031-68-3.

Sostko, A., & Jakubavičius, A. 2018. Gamybos logistikos tobulinimas bioekonomikos iššūkių kontekste [Improvement of production logistics in the context of bioeconomic challenges]. *Mokslas – Lietuvos ateitis. Ekonomika ir vadyba [Science – Future of Lithuania]*. 10. Vilnius, Lithuania. 1–7. <https://doi.org/10.3846/mla.2018.2864>

Šubrt, T., a kol. 2015. *Ekonomicko-matematické metody*. 2. upravené vydání. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk. ISBN 978-80-7380-563-0.

Tu, W. et al. 2016. Optimizing the locations of electric taxi charging stations: A spatial–temporal demand coverage approach. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 65. pp. 172–189. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.10.004>

Tute, W. T. 1984. *Graph Tudory*. Cambridge: Cambridge University Press.

Vienožindienė, M., Tamulienė, V., & Zaleckienė, J. 2021. Green logistics practices seeking development of sustainability: Evidence from Lithuanian transportation and logistics companies. *Energies*. 14(22). Article 7500. <https://doi.org/10.3390/en14227500>

Wang, C. et al. 2014. The value of a clear, long-term climate policy agenda: A case study of China's power sector using a multi-region optimization model. *Applied Energy*. 125. pp. 276–288. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.03.079>

Waters, D. 2009. *Supply Chain Management: An Introduction to Logistics*. 2 nd. Palgrave Macmillan. ISBN 9780230200524

Whitehead, Jake et al. 2022. Exploring public charging infrastructure requirements for short-haul electric trucks. *International Journal of Sustainable Transportation*. 16(9). pp. 775–791. Available at: <https://doi.org/10.1080/15568318.2021.1921888>

Wu, Y. et al. 2016. Optimal Site Selection of Electric Vehicle Charging Stations Based on a Cloud Model and the PROMETHEE Method. *Energies*. 9(3). p. 157. Available at: <https://doi.org/10.3390/en9030157>

Získal, Jan. 2000. *Ekonomicko matematické metody: studijní texty pro distanční studium*. Vyd. 2. Praha: Credit. ISBN 978-80-213-0664-6.

Seznam použitých zkratek

ANP	Analytický síťový proces (Analytic Network Process)
Uhlíková stopa CO ₂	Systém sledování ekologické zátěže
CCS typ 2	Kompatibilní nabíjecí konektor pro EU
CGVRPH	Problém směřování ekologických vozidel (Capacitated Green Vehicle Routing Problem)
C-W Metoda	Clarkeova-Wrightova Metoda
ČR	Česká republika
ČSN	České státní normy
ES	Evropské Společenství
EHS	Evropské Hospodářské Společenství
EOQ	Optimální objednané množství (Economic order quantity)
EPQ	Ekonomické množství výroby (Economic Production Quantity)
EU	Evropská Unie
GPS	Satelitní navigační systém (Global Positioning System)
HFVRP	Problém směřování vozidel heterogenního vozového parku (Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem)
IS	pojistné zásoby (Insurance stocks)
JIT	Doručení v požadovaném čase (Just in Time)
KAIZEN	Proces zlepšování produkce
LEAN	Proces minimalizace plýtvání zdroji
MTSP	Problém vícenásobného obchodního cestujícího (Multiple Traveling Salesman Problem)
PSO	Genetický algoritmus (Particle Swarm Optimization)
ŘSD	Ředitelství silnic a dálnic ČR
TC	Celkové náklady (Total costs)
TIR	(zkratka pro franc. Transports Internationaux Routiers), Mezinárodní silniční doprava)
TSP	Jednookruhový okružní dopravní problém (Traveling Salesman Problem)

SMART	Pravidlo pro stanovení cílů (specific, measurable, achievable, relevant, time-bounded)
VRP	Problém pro trasování vozidel (Vehicle Routing problém)
WC	Skladovací náklady (Warehouse costs)

Seznam Obrázků

Obrázek 1 Přípustné a nepřípustné řešení TSP	22
Obrázek 2 Výchozí řešení Clarkeova-Wrightovy metody	30
Obrázek 3 Distribuční systém	33
Obrázek 4 Typologie distribučních systémů	36
Obrázek 5 Síťový model kritérií nabíjecí stanice	71
Obrázek 6 Nevyvážená supermatice	72
Obrázek 7 Váhy jednotlivých kritérií	72
Obrázek 8 Popis řešení nalezení nabíjecí stanice	76
Obrázek 9 Vizualizace logistických areálů a obcí s omezenou dostupností	78
Obrázek 10 Vizualizace umístění nabíjecích stanic pro obce s omezenou dostupností před minimalizací	80
Obrázek 11 Slučování okresů před minimalizací nabíjecích stanic	81
Obrázek 12 Sloučení okresů Klatovy a Prachatice	81
Obrázek 13 Sloučení okresů Trutnov a Náchod	83
Obrázek 14 Sloučení okresů Jeseník, Ústí nad Orlicí a Šumperk	83
Obrázek 15 Sloučení okresů Jindřichův Hradec, Třebíč a Znojmo	85
Obrázek 16 Vizualizace umístění nabíjecích stanic pro obce s omezenou dostupností po minimalizaci umístění nabíjecích stanic	88
Obrázek 17 Postup řešení nalezení nabíjecích stanic – okresy ČR	90
Obrázek 18 Optimalizace umístění pro Jihočeský kraj	91
Obrázek 19 Vizualizace minimalizačního modelu umístění nabíjecích stanic pro okresy ČR	95
Obrázek 20 Vizualizace výsledného řešení minimalizačního modelu nabíjecích stanic pro okresy ČR	96
Obrázek 21 Postup řešení dopravního okružního modelu doplněných o nabíjecí místa	99

Seznam Tabulek

Tabulka 1 Vstupní data modelu	77
Tabulka 2 Optimalizace umístění nabíjecích stanic dle okresů	79
Tabulka 3 Přehled okresů po minimalizaci.....	86
Tabulka 4 Přehled nově umístěných míst v kontextu vstupních dat modelu.....	87
Tabulka 5 Souhrnný přehled okresů a možných umístění nabíjecích stanic	92
Tabulka 6 Vstupní data modelu	101
Tabulka 7 Výsledná tabulka modifikované Mayerovy metody aplikace na základě vzdáleností	102
Tabulka 8 Nabíjecí stanice v Plzeňském kraji	103
Tabulka 9 Výsledná tabulka modifikované Mayerovy metody aplikace na základě hmotnosti s možností přeskočení elementů	105
Tabulka 10 Vyhodnocení modelů.....	106

Seznam Příloh

Seznam stávajících logistických parků	128
Seznam obcí s omezenou dostupností	133
Minimalizace nabíjecích stanic pro okresy Klatovy a Prachatice	137
Minimalizace nabíjecích stanic pro okresy Náchod a Turnov.....	138
Minimalizace nabíjecích stanic pro okresy Jeseník, Ústí nad Orlicí a Šumperk.....	139
Minimalizace nabíjecích stanic pro okresy Jindřichův Hradec, Třebíč a Znojmo	140
Plán výstavby ŘSD ČR.....	141
Matice vzdáleností modifikovaná Mayerova metoda	142
Matice vzdáleností modifikovaná Mayerova metoda založená na hmotnosti elementů, doplněná o přeskakující algoritmus a nabíjecí místa	143

1. Seznam stávajících logistických parků

Id	Název	Obec	Okres	Kraj	PSČ	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka
1	CTP park Aš	Hazlov	Cheb	Karlovarský kraj	35201	50,22878731	12,20775286
2	KKIG PARK Běchovice	Praha	Praha	Hlavní město Praha	19011	50,09415572	14,61823244
3	Industrial Park Bílina	Bílina	Teplice	Ústecký kraj	41801	50,56545941	13,75143675
4	Výrobní areál Blansko	Blansko	Blansko	Jihomoravský kraj	67801	49,36734365	16,64722491
5	CTP park Blatnice	Blatnice	Plzeň-sever	Plzeňský kraj	33025	49,71144273	13,1721317
6	Průmyslová hala Blovice	Blovice	Plzeň-jih	Plzeňský kraj	36001	49,58190183	13,53974082
7	CTP park Blučina	Blučina	Brno-venkov	Jihomoravský kraj	66456	49,32217804	16,69372771
8	CTP park Bor	Bor u Tachova	Tachov	Plzeňský kraj	34802	49,74912445	12,77280171
9	Amulle průmyslová zóna Brno	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	61800	49,19188294	16,63143064
10	Areál Brno Řípská	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	62700	49,17651158	16,67876643
11	Areál Alfa Brno	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	61900	49,1818498	16,61743746
12	Areál Kaštanová Brno	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	62000	49,15965371	16,63663561
13	Avia Business park	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	63900	49,17267944	16,598651
14	Brno Airport park	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	62000	49,15968696	16,6854819
15	Brno West Business park	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	61200	49,23503625	16,57836285
16	Business park Bibus	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	61900	49,1489712	16,60307267
17	Business park Průmyslová	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	10200	50,06077105	14,53578047
18	CTP park Brno	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	62700	49,12568583	16,6028998
19	CTP park Brno South	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	62700	49,16521217	16,70418
20	H-Park Brno	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	62700	49,17421184	16,60363616
21	Hala Heršpická	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	62800	49,17493664	16,60225007
22	Hala Prazakova	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	62900	49,16938371	16,6033573
23	LTC Brno Kaštanová	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	62700	49,16041427	16,64010978
24	Logistický areál Videňská Brno	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	62700	49,15148484	16,60522234
25	Polyfunkční areál Sokolovna Brno	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	62700	49,16841962	16,61911965
26	Ponávka Brno	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	62700	49,1981006	16,61593501
27	Prologis Park Brno Syrovice	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	62700	49,07590736	16,55847068
28	Sklady Brno - Horní Heršpice	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	62700	49,14287063	16,60032143
29	Sklady Brno - Líšeň	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	62700	49,1839658	16,48382494
30	Smart Zone D1 park Brno	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	62700	49,1703524	16,51315781
31	Technologický Park Brno	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	62700	49,2309051	16,57685264
32	VGP Park Brno	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	62700	49,08544926	16,57953334
33	Výrobní prostor Královo Pole Brno	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	62700	49,22743158	16,60688304
34	Průmyslový areál D1	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	62800	49,08135253	16,55946613
35	Industrial park Brno Holubice	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	62700	49,19311768	16,81381158
36	CTP park Brno Líšeň	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	62700	49,17194647	16,67225099
37	Business park Modřice	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	66442	49,12237715	16,60038168
38	CTP park Modřice	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	66402	49,17731571	16,58893231
39	Areál Popůvky	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	66441	49,1786135	16,48853079
40	Sklad EZB Brno - Židenice	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	62700	49,19565642	16,64610965
41	Výrobní areál Bruntál	Bruntál	Bruntál	Moravskoslezský kraj	79201	49,98623699	17,46666525
42	Park Břeclav - Poštorná	Břeclav	Břeclav	Jihomoravský kraj	69141	48,75116272	16,87029015
43	Břeclav industrial park	Břeclav	Břeclav	Jihomoravský kraj	69002	48,74815327	16,89992923
44	D2 park Břeclav	Břeclav	Břeclav	Jihomoravský kraj	69102	48,75595441	16,87917984
45	Greenhouse Březhrad	Hradec Králové	Hradec Králové	Královéhradecký kraj	50332	50,17791381	15,79101842
46	Industrial hall Bujanov	Bujanov	Český Krumlov	Jihočeský kraj	38241	48,70356371	14,42690554
47	Průmyslový areál Cerhovice	Cerhovice	Beroun	Středočeský kraj	26861	49,85112686	13,83230257
48	CTP park Cerhovice	Cerhovice	Beroun	Středočeský kraj	26761	49,84240004	13,81648726
49	Sklad Most - Čepirohy	Most	Most	Ústecký kraj	43401	50,48468935	13,62081726
50	Industrial hall Černíky	Černíky	Nymburk	Středočeský kraj	28915	50,10257186	14,81990496
51	CTP park Česká Lípa	Skalice	Česká Lípa	Liberecký kraj	47000	50,68524201	14,5852716
52	Gabre České Budějovice	České Budějovice	České Budějovice	Jihočeský kraj	37301	48,93290865	14,44804921
53	Sklad Pekárenská České Budějovice	České Budějovice	České Budějovice	Jihočeský kraj	37301	48,98310789	14,48442268
54	VGP Park České Budějovice	České Budějovice	České Budějovice	Jihočeský kraj	37301	48,99833695	14,50088889
55	VGP Park Český Újezd	Ústí nad Labem	Ústí nad Labem	Ústecký kraj	40010	50,68029954	13,96559265
56	BigBox Čestlice	Čestlice	Praha-východ	Středočeský kraj	25101	50,00133323	14,57931358
57	Skladové areál Dalovice	Dalovice	Karlovy Vary	Karlovarský kraj	36263	50,24765699	12,89041408
58	CTP park Divišov	Divišov	Benešov	Středočeský kraj	25767	49,79977057	14,8967589
59	Hala Dmovice	Dmovice	Blansko	Jihomoravský kraj	68304	49,27645377	16,95139727
60	CTP park Holubice	Holubice	Praha-západ	Středočeský kraj	68351	49,17959603	16,81594273
61	BigBox Horní Počernice	Praha	Praha	Hlavní město Praha	19300	50,10181556	14,62561021
62	P3 Prague Horní Počernice	Praha	Praha	Hlavní město Praha	19400	50,11630829	14,61862959

63	Panattoni D5 Hořovice Park	Hořovice	Beroun	Středočeský kraj	26753	49,86285428	13,89461403
64	Skladová hala Hořovice	Hořovice	Beroun	Středočeský kraj	26801	49,84134544	13,89438632
65	Impera park Hovorčovice	Hovorčovice	Praha-východ	Středočeský kraj	25064	50,17905918	14,51875703
66	CTP Park Hradec Králové	Hradec Králové	Hradec Králové	Královéhradecký kraj	50003	50,21978107	15,90086463
67	Industrial park Hradec Králové II	Hradec Králové	Hradec Králové	Královéhradecký kraj	50103	50,2151211	15,82946001
68	LiNK Hradec Králové	Hradec Králové	Hradec Králové	Královéhradecký kraj	50203	50,22514881	15,84502908
69	LiNK Vážní Hradec Králové	Hradec Králové	Hradec Králové	Královéhradecký kraj	50303	50,23246735	15,85561436
70	Logistics Park Hradec Králové	Hradec Králové	Hradec Králové	Královéhradecký kraj	50403	50,17539807	15,8022442
71	CTP Park Hranice	Hranice	Přerov	Olomoucký kraj	75301	49,55783681	17,71928835
72	Výrobní hala Hranice	Hranice	Přerov	Olomoucký kraj	75401	49,55636005	17,73693995
73	CTP park Humpolec	Humpolec	Pelhřimov	Vysočina	39601	49,52877927	15,3528028
74	CTP park Humpolec II	Humpolec	Pelhřimov	Vysočina	39701	49,54170223	15,33864074
75	Contera park Hustopeče	Hustopeče	Břeclav	Jihomoravský kraj	69301	48,94171768	16,73554373
76	CTP park Cheb	Cheb	Cheb	Karlovarský kraj	35002	50,08792955	12,4582664
77	Logistické Centrum Cheb	Cheb	Cheb	Karlovarský kraj	35102	50,08150419	12,36432075
78	Panattoni Park Cheb	Cheb	Cheb	Karlovarský kraj	35202	50,08150419	12,36432075
79	Panattoni Park Cheb South	Cheb	Cheb	Karlovarský kraj	35302	50,06743554	12,38795007
80	Panattoni Park Cheb East	Cheb	Cheb	Karlovarský kraj	35402	50,09056921	12,4106952
81	CTP park Chomutov	Chomutov	Chomutov	Ústecký kraj	43101	50,47952364	13,40759261
82	Panattoni Park Chomutov North	Chomutov	Chomutov	Ústecký kraj	43201	50,463413	13,40242977
83	Panattoni park Chomutov South	Chomutov	Chomutov	Ústecký kraj	43301	50,5868745	13,8021703
84	VGP Park Chomutov	Chomutov	Chomutov	Ústecký kraj	43101	50,44484475	13,39866284
85	Průmyslová hala Chotěboř	Chotěboř	Havlíčkův Brod	Vysočina	58301	49,71857456	15,66843638
86	CTP park Chrastava	Chrastava	Liberec	Liberecký kraj	46331	50,81730581	14,9651971
87	Business park Prague Chrást'any	Chrást'any	Benešov	Středočeský kraj	25219	50,0513645	14,2575065
88	Goodman Chrást'any	Chrást'any	Benešov	Středočeský kraj	25319	50,04902451	14,2553067
89	Prologis Park Chrást'any	Chrást'any	Benešov	Středočeský kraj	25419	50,04902451	14,2553067
90	Průmyslový areál Ivančice	Ivančice	Brno-venkov	Jihomoravský kraj	66491	49,102512	16,37984683
91	Jažlovice Logistics Centre D1	Říčany	Praha-východ	Středočeský kraj	25101	49,96497577	14,63270116
92	VGP Park Jeneč	Jeneč	Praha-západ	Středočeský kraj	25261	50,09001842	14,20641469
93	Průmyslový areál Jesenice u Chebu	Cheb	Cheb	Karlovarský kraj	35002	50,07225765	12,47382844
94	Průmyslový pozemek Jesenice u Chebu	Cheb	Cheb	Karlovarský kraj	35002	50,07225765	12,47382844
95	CTP park Jihlava	Jihlava	Jihlava	Vysočina	58601	49,45885206	15,60895514
96	Logistické centrum Jihlava	Střítež	Pelhřimov	Vysočina	58701	49,45650761	15,62798518
97	CSP park Jindřichův Hradec	Jindřichův Hradec	Jindřichův Hradec	Jihočeský kraj	37701	49,15715172	15,01813933
98	CTP park Kadaň	Kadaň	Chomutov	Ústecký kraj	43201	50,4150912	13,26143485
99	Panattoni Park Karlovy Vary	Karlovy Vary	Karlovy Vary	Karlovarský kraj	36001	50,20563519	12,9149546
100	CTP park Karviná	Karviná	Karviná	Moravskoslezský kraj	72000	49,78578956	18,26869589
101	Industrial warehouse Kladno	Kladno	Kladno	Středočeský kraj	27201	50,12493469	14,12420263
102	Logport Kladno	Kladno	Kladno	Středočeský kraj	27201	50,15475383	14,12654493
103	Panattoni Park Kladno	Kladno	Kladno	Středočeský kraj	27201	50,10148877	14,16750118
104	VG park Kladno	Kladno	Kladno	Středočeský kraj	27201	50,14567871	14,13212874
105	Gabre Klášterec nad Ohří	Klášterec nad Ohří	Chomutov	Ústecký kraj	43151	50,38124918	13,19888394
106	Panattoni Park Klatovy	Klatovy	Klatovy	Plzeňský kraj	33901	49,41725463	13,27706113
107	Skladový areál Kličany	Kličany	Praha-východ	Středočeský kraj	25069	50,20289594	14,43407929
108	Demaco Kolín	Kolín	Kolín	Středočeský kraj	28002	50,05657064	15,20625123
109	Industrial&Logistics Park Kolín	Kolín	Kolín	Středočeský kraj	28002	50,50901893	14,96929467
110	Park Velký Osek - Kolín	Kolín	Kolín	Středočeský kraj	28002	50,10504142	15,1873438
111	Průmyslový Park Kopřivnice	Kopřivnice	Nový Jičín	Moravskoslezský kraj	74221	49,5955588	18,14796225
112	Business park Králův Dvůr	Králův Dvůr	Beroun	Středočeský kraj	26701	49,93887137	14,02742476
113	Logistics centre Kuřim	Kuřim	Brno-venkov	Jihomoravský kraj	66434	49,32190579	16,54451876
114	Skladová Hala Kuřim	Kuřim	Brno-venkov	Jihomoravský kraj	66434	49,30293934	16,53546497
115	Smart Zone Kuřim	Kuřim	Brno-venkov	Jihomoravský kraj	66434	49,31407285	16,54601497
116	TOS Kuřim	Kuřim	Brno-venkov	Jihomoravský kraj	66434	49,31720617	16,53559236
117	CTP park Kutná Hora	Kutná Hora	Kutná Hora	Středočeský kraj	28401	49,98118193	15,27414364
118	CTP park Kvasiny	Kvasiny	Rychnov nad Kněžnou	Královéhradecký kraj	51702	50,21273267	16,26311348
119	CTP park Liberec	Liberec	Liberec	Liberecký kraj	46312	50,73079113	15,03907996
120	P3 Liberec	Liberec	Liberec	Liberecký kraj	46412	50,74090481	15,03128162
121	P3 Liberec II	Liberec	Liberec	Liberecký kraj	46512	50,74154208	15,03145326
122	Skladový areál Liberec - Františkov	Liberec	Liberec	Liberecký kraj	46612	50,74686283	15,03222563
123	VGP park Liberec	Liberec	Liberec	Liberecký kraj	46712	50,76469549	15,05309342
124	Industrial Park Liberec - Ostašov	Liberec	Liberec	Liberecký kraj	46812	50,76469549	15,05309342
125	Nordport Libouchec	Libouchec	Ústí nad Labem	Ústecký kraj	40335	50,75796852	14,03507228
126	CTP park Lipník nad Bečvou	Lipník nad Bečvou	Přerov	Olomoucký kraj	75131	49,52998905	17,61132534
127	Logistické centrum Lipovka	Kvasiny	Rychnov nad Kněžnou	Královéhradecký kraj	51702	50,20322662	16,25650952

128	Industrial Park Litoměřice	Litoměřice	Litoměřice	Ústecký kraj	41201	50,53856433	14,12806024
129	Výrobní hala Litovel	Litovel	Olomouc	Olomoucký kraj	78401	49,69010156	17,07861633
130	CTP park Louny	Louny	Louny	Ústecký kraj	43903	50,34049492	13,82498333
131	Lovosice ONE Industrial Park	Lovosice	Litoměřice	Ústecký kraj	41002	50,51282185	14,07551829
132	P3 Lovosice	Lovosice	Litoměřice	Ústecký kraj	41002	50,50518392	14,07437524
133	Segro Logistics Park Lovosice	Lovosice	Litoměřice	Ústecký kraj	41002	50,50840457	14,08973894
134	CTP park Lysá nad Labem	Lysá nad Labem	Nymburk	Středočeský kraj	28922	50,19865338	14,84179566
135	Smart Zone Mikulov	Mikulov	Teplice	Ústecký kraj	69201	48,80425834	16,63588366
136	CTP park Mladá Boleslav	Mladá Boleslav	Mladá Boleslav	Středočeský kraj	29301	50,39008054	14,90317458
137	CTP park Mladá Boleslav II	Mladá Boleslav	Mladá Boleslav	Středočeský kraj	29301	50,37672649	14,89776724
138	GLP Logistics Centre Mladá Boleslav	Mladá Boleslav	Mladá Boleslav	Středočeský kraj	29401	50,42354212	14,91353231
139	P3 Mladá Boleslav	Mladá Boleslav	Mladá Boleslav	Středočeský kraj	29501	50,41431822	14,95715937
140	Panattoni Park Mladá Boleslav	Mladá Boleslav	Mladá Boleslav	Středočeský kraj	29601	50,39148095	14,90136214
141	CPI Mlýnec	Kopidlno	Jičín	Královéhradecký kraj	34802	49,70008971	12,73691778
142	Skladová hala Mnichovo Hradiště	Mnichovo Hradiště	Mladá Boleslav	Středočeský kraj	29501	50,51088455	14,96783171
143	Skladová hala Modletice	Modletice	Praha-východ	Středočeský kraj	25170	49,97166064	14,61172045
144	Industry Moravský Krumlov	Moravský Krumlov	Znojmo	Jihomoravský kraj	67201	49,03038087	16,32487295
145	CTP park Most	Most	Most	Ústecký kraj	43401	50,47526895	13,61703582
146	Industrial hall Most	Most	Most	Ústecký kraj	43501	50,51001092	13,62271193
147	Panattoni Park Most	Most	Most	Ústecký kraj	43601	50,48374939	13,62610743
148	P3 Pilsen Myslinka	Myslinka	Plzeň-sever	Plzeňský kraj	33023	49,74828004	13,21823114
149	P3 Plzeň - Myslinka	Myslinka	Plzeň-sever	Plzeňský kraj	33023	49,74828004	13,21823114
150	Výrobní hala Mýto	Mýto	Rokycany	Plzeňský kraj	33805	49,78918783	13,73111485
151	D8 park Logistik	Nelahozeves	Mělník	Středočeský kraj	27751	50,27592168	14,30929776
152	CTP park Nošovice	Nošovice	Frýdek-Místek	Moravskoslezský kraj	73951	49,66998865	18,43487619
153	Areál Nové Strašecí	Nové Strašecí	Rakovník	Středočeský kraj	27101	50,1627598	13,90283459
154	Warehouse Nové Strašecí	Nové Strašecí	Rakovník	Středočeský kraj	27101	50,15740141	13,90405135
155	CTP park Nový Jičín	Nový Jičín	Nový Jičín	Moravskoslezský kraj	74101	49,60432643	18,03797682
156	Obchodní prostory Nový Jičín	Nový Jičín	Nový Jičín	Moravskoslezský kraj	74201	49,60035731	18,00872258
157	Komerční park Nupaky	Nupaky	Praha-východ	Středočeský kraj	25101	49,99024412	14,59617211
158	CTP park Okříšky	Okříšky	Třebíč	Vysočina	67521	49,24615051	15,76848675
159	P3 Olomouc	Olomouc	Olomouc	Olomoucký kraj	78301	49,57006147	17,20646532
160	Sklad Olomouc Holická	Olomouc	Olomouc	Olomoucký kraj	77901	49,572548	17,29855005
161	VGP Park Olomouc	Olomouc	Olomouc	Olomoucký kraj	78301	49,57006147	17,20646532
162	Průmyslový a výrobní areál Bystrovany	Olomouc	Olomouc	Olomoucký kraj	78353	49,59198712	17,33746665
163	Průmyslový a výrobní areál Bystrovany II	Olomouc	Olomouc	Olomoucký kraj	78353	49,59198712	17,33746665
164	Průmyslový areál Hodolany	Olomouc	Olomouc	Olomoucký kraj	77900	49,59534847	17,2848976
165	Sklad Opava	Opava	Opava	Moravskoslezský kraj	74601	49,95254195	17,85731773
166	Business park Ostrava	Ostrava	Ostrava-město	Moravskoslezský kraj	70300	49,81697467	18,2624506
167	CTP park Ostrava	Ostrava	Ostrava-město	Moravskoslezský kraj	72000	49,77540386	18,27110741
168	CTP zone Ostrava	Ostrava	Ostrava-město	Moravskoslezský kraj	72000	49,76734941	18,27264566
169	Hard Ostrava	Ostrava	Ostrava-město	Moravskoslezský kraj	72000	49,77444076	18,26750175
170	Ostrava Airport Multimodal Park	Ostrava	Ostrava-město	Moravskoslezský kraj	72000	49,68127401	18,10774916
171	Ostrava D1 Park	Ostrava	Ostrava-město	Moravskoslezský kraj	72000	49,7004286	18,12351823
172	Ostrava Logistics Park	Ostrava	Ostrava-město	Moravskoslezský kraj	72000	49,81641408	18,15417708
173	P3 Ostrava Central	Ostrava	Ostrava-město	Moravskoslezský kraj	72000	49,81119406	18,27938423
174	RTL Park Ostrava	Ostrava	Ostrava-město	Moravskoslezský kraj	72000	49,815201	18,28040116
175	Tulipán Park Ostrava	Ostrava	Ostrava-město	Moravskoslezský kraj	72000	49,77829912	18,2725306
176	CTP park Ostrava Hrušov	Ostrava	Ostrava-město	Moravskoslezský kraj	71100	49,87732145	18,29300155
177	Areál Mošnov	Ostrava	Ostrava-město	Moravskoslezský kraj	74260	49,69686189	18,12124109
178	Contera park Mošnov	Ostrava	Ostrava-město	Moravskoslezský kraj	74260	49,69036515	18,127194
179	CTP park Ostrava Poruba	Ostrava	Ostrava-město	Moravskoslezský kraj	70800	49,8175715	18,15515537
180	Logistický park Ostrov	Ostrov	Havlíčkův Brod	Vysočina	34901	49,7043849	13,03853283
181	Panattoni park Ostrov - North	Ostrov	Havlíčkův Brod	Vysočina	34901	50,3268139	12,951873
182	Logistický park D1-Ostředek	Ostředek	Benešov	Středočeský kraj	25724	49,98894698	14,59137947
183	Prologis Park D1 Ostředek	Ostředek	Benešov	Středočeský kraj	25724	49,98629809	14,82305841
184	D+D Zelená Louka Pardubice	Pardubice	Pardubice	Pardubický kraj	53006	50,05679722	15,73443741
185	Logistika Park Pardubice	Pardubice	Pardubice	Pardubický kraj	53006	50,02041182	15,8082027
186	Průmyslový park Pardubice	Pardubice	Pardubice	Pardubický kraj	53006	50,02687005	15,7988364
187	Průmyslový areál Stěblová u Pardubic	Pardubice	Pardubice	Pardubický kraj	53006	50,02187962	15,8047158
188	Sklad Pardubice	Pardubice	Pardubice	Pardubický kraj	53006	50,02247646	15,72425192
189	Techno park Pardubice	Pardubice	Pardubice	Pardubický kraj	53006	50,01835621	15,68496366
190	Logistické centrum Pelhřimov	Pelhřimov	Pelhřimov	Vysočina	39301	49,42041372	15,21825931
191	Industrial park Písek	Písek	Frýdek-Místek	Moravskoslezský kraj	39701	49,32383893	14,12281959
192	CSP park Planá nad Lužnicí	Planá nad Lužnicí	Tábor	Jihočeský kraj	39111	49,35935709	14,71878004

193	CTP park Plzeň	Plzeň	Plzeň-město	Plzeňský kraj	30100	49,73132071	13,34187788
194	CTP zone Plzeň	Plzeň	Plzeň-město	Plzeňský kraj	30100	49,73131378	13,34194226
195	Dílenské prostory Doubravka	Plzeň	Plzeň-město	Plzeňský kraj	30100	49,7448784	13,39101019
196	Logistický areál Plzeň Doubravka	Plzeň	Plzeň-město	Plzeňský kraj	30100	49,75430665	13,4279672
197	Panattoni Pilsen Digital Park	Plzeň	Plzeň-město	Plzeňský kraj	30100	49,7266876	13,3424608
198	Panattoni Pilsen West II	Úherce	Louny	Ústecký kraj	30100	49,70502104	13,23621491
199	Panattoni park Pilsen City	Plzeň	Plzeň-město	Plzeňský kraj	30100	49,73565217	13,32582214
200	Prologis Park Pilsen II	Nýřany	Plzeň-sever	Plzeňský kraj	30100	49,73348108	13,12326037
201	Rentiro Plzeň	Plzeň	Plzeň-město	Plzeňský kraj	30100	49,7266876	13,3424608
202	Sklad Plzeň východ	Plzeň	Plzeň-město	Plzeňský kraj	30100	49,72482049	13,38462302
203	Skladové prostory Plzeň-Jih	Plzeň	Plzeň-město	Plzeňský kraj	30100	49,74578676	13,37602191
204	VGP Park Plzeň	Plzeň	Plzeň-město	Plzeňský kraj	30100	49,72255756	13,43355851
205	Flexis Business Park	Plzeň	Plzeň-město	Plzeňský kraj	30100	49,77870246	13,32259553
206	Business park Plzeň Křimice	Plzeň	Plzeň-město	Plzeňský kraj	32200	49,75176699	13,32445717
207	Business park Plzeň Vejprnice	Plzeň	Plzeň-město	Plzeňský kraj	33027	49,72236617	13,28314313
208	Panattoni park Podbořany	Podbořany	Louny	Ústecký kraj	44101	50,22196635	13,40317088
209	CTP park Pohořelice	Pohořelice	Zlín	Zlínský kraj	69123	49,13663286	16,52135213
210	Skladové prostory Popovičky	Popovičky	Praha-východ	Středočeský kraj	25101	49,96090409	14,60052936
211	Průmyslový park Pradubice - Rosice	Pardubice	Pardubice	Pardubický kraj	53351	50,04561774	15,73302322
212	CTP park Prague Airport	Praha	Praha	Hlavní město Praha	25268	50,11874822	14,26718481
213	CTP park Prague East	Praha	Praha	Hlavní město Praha	25101	49,98735053	14,60033048
214	CTP park Prague North	Praha	Praha	Hlavní město Praha	27745	50,2451066	14,36775894
215	CTP park Prague West	Praha	Praha	Hlavní město Praha	25219	50,05491517	14,26762778
216	City park Hostivař	Praha	Praha	Hlavní město Praha	10200	50,06204775	14,53997164
217	Eastgate park Prague	Praha	Praha	Hlavní město Praha	15521	50,05409979	14,28771117
218	Lethany Business Park	Praha	Praha	Hlavní město Praha	19700	50,13368033	14,52617638
219	Logicor Prague Airport	Praha	Praha	Hlavní město Praha	25268	50,11905092	14,26708704
220	Logport Prague West	Praha	Praha	Hlavní město Praha	25268	50,03100195	14,28092226
221	Nord Park Prague	Praha	Praha	Hlavní město Praha	25301	50,12425483	14,62607623
222	P3 Prague D1	Praha	Praha	Hlavní město Praha	25163	49,94196387	14,65182088
223	P3 Prague D11	Praha	Praha	Hlavní město Praha	19300	50,12959445	14,62256975
224	P3 Prague D8	Praha	Praha	Hlavní město Praha	25301	50,17740404	14,44754421
225	P3 Prague Letňany	Praha	Praha	Hlavní město Praha	19700	50,14284262	14,5134567
226	PRARENA I. Praha 10	Praha	Praha	Hlavní město Praha	10200	50,05108059	14,52362361
227	Panattoni park Prague Airport II Pavlov	Praha	Praha	Hlavní město Praha	25268	50,10148189	14,16744754
228	Panattoni Park Prague City	Praha	Praha	Hlavní město Praha	27745	50,25429512	14,36822653
229	Prologis Park Prague - Úžice	Praha	Praha	Hlavní město Praha	27745	50,25429512	14,36822653
230	Prologis Park Prague D1 East	Praha	Praha	Hlavní město Praha	25301	49,97075988	14,62239627
231	Prologis Park Prague D1 West	Praha	Praha	Hlavní město Praha	25301	49,97565052	14,62576283
232	Prologis Park Prague D1 West II	Praha	Praha	Hlavní město Praha	25301	49,97463797	14,59009608
233	Prologis Park Prague Jirny	Praha	Praha	Hlavní město Praha	25090	50,11779625	14,69371183
234	Prologis Park Prague Airport	Praha	Praha	Hlavní město Praha	25268	50,08985111	14,20414073
235	Prologis Park Prague Rudná	Praha	Praha	Hlavní město Praha	25219	50,01965786	14,20322993
236	Westpoint Distribution Park	Praha	Praha	Hlavní město Praha	16100	50,09200645	14,32413403
237	Fabrika Business Park	Praha	Praha	Hlavní město Praha	15000	50,0538266	14,4084136
238	Karlovská Business Park	Praha	Praha	Hlavní město Praha	16000	50,07930629	14,29060553
239	Čestlice Business Park	Praha	Praha	Hlavní město Praha	25100	49,99729334	14,58781761
240	Business park Prague Zličín	Praha	Praha	Hlavní město Praha	15521	50,05725047	14,27950381
241	VGP Park Prostějov	Prostějov	Prostějov	Olomoucký kraj	79601	49,47249909	17,13586156
242	Logistické centrum Přehýšov	Přehýšov	Plzeň-sever	Plzeňský kraj	33023	49,71890631	13,12253961
243	CTP park Přestice	Přestice	Plzeň-jih	Plzeňský kraj	33401	49,56767301	13,3217796
244	Panattoni Park Přestice	Přestice	Plzeň-jih	Plzeňský kraj	33401	49,58176367	13,32143802
245	Logicor Příšovice	Jeneč	Praha-západ	Středočeský kraj	46346	50,57389716	15,07414316
246	P3 Příšovice	Jeneč	Praha-západ	Středočeský kraj	46346	50,57869627	15,07363651
247	Arete Rokycany	Rokycany	Rokycany	Plzeňský kraj	33701	49,75150288	13,57779072
248	Výrobně skladovací areál Rosice	Rosice	Chrudim	Pardubický kraj	66417	49,17643249	16,40657916
249	Industry park Rousinov	Rousinov	Vyškov	Jihomoravský kraj	68301	49,19819307	16,87990314
250	Průmyslový Park Rumburk	Rumburk	Děčín	Ústecký kraj	40801	50,94363165	14,55737232
251	Skladový areál Řečkovice	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	62100	49,23856005	16,55642453
252	Green Square Říčany	Říčany	Praha-východ	Středočeský kraj	25100	49,97277707	14,62680063
253	Areál Slatina	Brno	Brno-město	Jihomoravský kraj	62700	49,16631348	16,68261201
254	Skladový prostor Slavkov	Slavkov	Opava	Moravskoslezský kraj	66407	49,18852066	16,81067998
255	Panattoni park Stará Boleslav	Brandýs nad Labem	Stará Boleslav	Středočeský kraj	29474	50,21607795	14,68644764
256	Skladový areál Stochov	Stochov	Kladno	Středočeský kraj	27061	50,1367902	13,96537096
257	CTP park Stříbro	Stříbro	Tachov	Plzeňský kraj	34901	49,70399564	13,03861505

258	Panattoni Park Stříbro	Stříbro	Tachov	Plzeňský kraj	34901	49,70405605	13,03878748
259	YZO Světlá nad Sázavou	Světlá nad Sázavou	Havlíčkův Brod	Vysočina	58291	49,6668243	15,41464962
260	Industrial park Svitavy	Svitavy	Svitavy	Pardubický kraj	56802	49,76194634	16,47479338
261	Prologis Park Pilsen - Štěnovice	Štěnovice	Plzeň-jih	Plzeňský kraj	33209	49,67076573	13,40054156
262	Sklad Plzeň - Štěnovice	Štěnovice	Plzeň-jih	Plzeňský kraj	33209	49,67076573	13,40054156
263	Průmyslová zóna Tábor	Tábor	Tábor	Jihočeský kraj	39102	49,37809386	14,69556216
264	Industrial park Tachov A	Tachov	Česká Lípa	Liberecký kraj	34701	49,80686275	12,64600005
265	CTP park Teplice	Teplice	Teplice	Ústecký kraj	41742	50,661595	13,87654782
266	CTP park Teplice II	Teplice	Teplice	Ústecký kraj	41742	50,66960827	13,88346712
267	Green Square Teplice	Teplice	Teplice	Ústecký kraj	41742	50,65989762	13,86033589
268	Green Square Teplice II	Teplice	Teplice	Ústecký kraj	41742	50,6587626	13,86043957
269	Panattoni Park Teplice South	Teplice	Teplice	Ústecký kraj	41742	50,58690856	13,80215957
270	Skladový areál JTH Teplice	Teplice	Teplice	Ústecký kraj	41742	50,62571804	13,82929053
271	Výrobní areál Teplice	Teplice	Teplice	Ústecký kraj	41742	50,64237407	13,78740431
272	Průmyslový Park Trmice	Trmice	Ústí nad Labem	Ústecký kraj	40004	50,63992641	13,99081239
273	Air depo Tuchoměřice	Tuchoměřice	Praha-západ	Středočeský kraj	25267	50,13742582	14,27449993
274	VGP Park Tuchoměřice	Tuchoměřice	Praha-západ	Středočeský kraj	25267	50,13484017	14,26045037
275	P3 Turnov	Turnov	Semily	Liberecký kraj	51101	50,60666574	15,14855408
276	Arete Uherské Hradiště	Uherské Hradiště	Uherské Hradiště	Zlínský kraj	68601	49,07950588	17,48089891
277	Panattoni Park Uničov	Uničov	Olomouc	Olomoucký kraj	78391	49,76267461	17,11242909
278	CTP park Ústí nad Labem	Ústí nad Labem	Ústí nad Labem	Ústecký kraj	40010	50,69396047	13,97412418
279	Sklad Přístav Ústí nad Labem	Ústí nad Labem	Ústí nad Labem	Ústecký kraj	40010	50,66451752	14,07564439
280	VGP Park Ústí nad Labem	Ústí nad Labem	Ústí nad Labem	Ústecký kraj	40010	50,68316093	13,91605694
281	VGP Park Ústí nad Labem City	Ústí nad Labem	Ústí nad Labem	Ústecký kraj	40010	50,68322211	13,91601403
282	Průmyslová hala Velká Bíteš - Košíkov	Velká Bíteš	Žďár nad Sázavou	Vysočina	59501	49,26996276	16,2382338
283	HiPark Vestec	Vestec	Praha-západ	Středočeský kraj	25242	49,9896652	14,4900768
284	VGP Park Vyškov	Vyškov	Vyškov	Jihomoravský kraj	68201	49,28412483	17,02491936
285	Výrobní hala Vyškov	Vyškov	Vyškov	Jihomoravský kraj	68201	49,27077316	16,98908019
286	CTP park Zákupy	Zákupy	Česká Lípa	Liberecký kraj	47123	50,68156725	14,62830666
287	Archan Zápý	Zápý	Praha-východ	Středočeský kraj	25089	50,1753171	14,69783001
288	Panattoni park Zdice	Zdice	Beroun	Středočeský kraj	26751	49,86358483	13,8972591
289	Logistické Centrum Zlín Malenovice	Zlín	Zlín	Zlínský kraj	76001	49,23107837	17,67167531
290	Cream Zlín	Zlín	Zlín	Zlínský kraj	76001	49,22447357	17,65656828
291	Technopark Znojmo	Znojmo	Znojmo	Jihomoravský kraj	66902	48,84812086	16,07493434
292	CTP park Žatec	Žatec	Louny	Ústecký kraj	43801	50,37667507	13,57965208
293	CTP park Žatec II	Žatec	Louny	Ústecký kraj	43801	50,37549113	13,61955487
294	CTP park České Velenice	České Velenice	Jindřichův Hradec	Jihočeský kraj	37810	48,78178105	14,9751521

2. Seznam obcí s omezenou dostupností

Id	Název	Okres	Kraj	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka	PSČ	Vzdálenost >66 KM
5	Adršpach	Náchod	Královéhradecký kraj	50,6208333	16,1119444	54952	72,62560854
35	Bačkovice	Třebíč	Vysočina	48,9686111	15,5891667	67532	59,5079884
54	Batňovice	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,5138889	16,0527778	54237	60,27445613
108	Bernartice	Jeseník	Olomoucký kraj	50,3888889	17,0808333	79057	78,52773437
111	Bernartice	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,6463889	15,9652778	54204	72,67659219
141	Bílá Voda	Jeseník	Olomoucký kraj	50,4441667	16,9077778	79069	78,50099445
222	Bohumilice	Prachatice	Jihočeský kraj	49,0961111	13,8211111	38481	59,48964415
238	Bohušov	Bruntál	Moravskoslezský kraj	50,2458333	17,7177778	79398	59,96784374
279	Borová Lada	Prachatice	Jihočeský kraj	48,9908333	13,6719444	38492	75,45821316
286	Borovnice	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,5136111	15,6033333	54477	59,7501564
319	Božanov	Náchod	Královéhradecký kraj	50,5255556	16,3563889	54974	61,40781139
342	Branná	Šumperk	Olomoucký kraj	50,1522222	17,0133333	78825	63,2490966
378	Broumov	Náchod	Královéhradecký kraj	50,5813889	16,3369444	54983 - 55001	67,32540238
473	Buk	Prachatice	Jihočeský kraj	49,0419444	13,8508333	38421	63,05826908
485	Bukovice	Náchod	Královéhradecký kraj	50,5502778	16,2291667	54961	63,61040526
493	Bukovník	Klatovy	Plzeňský kraj	49,2244444	13,6725000	34201	60,48859001
629	Čermná	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,5530556	15,7697222	54377	62,16403721
636	Černá Voda	Jeseník	Olomoucký kraj	50,3105556	17,1563889	79054	68,29991628
666	Černý Důl	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,6386111	15,7088889	54343 - 54372	65,68792514
672	Červená Voda	Ústí nad Orlicí	Pardubický kraj	50,0419444	16,7433333	56161	62,59577227
688	Česká Metuje	Náchod	Královéhradecký kraj	50,5450000	16,1830556	54931 - 54956	63,38002461
692	Česká Ves	Jeseník	Olomoucký kraj	50,2547222	17,2269444	79081	60,40017898
732	Čistá u Horek	Semily	Liberecký kraj	50,5319790	15,6075980	51235	59,46661774
777	Dešná	Jindřichův Hradec	Jihočeský kraj	48,9583333	15,5472222	37873 - 37881	61,82896152
901	Dolní Dvůr	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,6550000	15,6563889	54342	62,21978763
909	Dolní Kalná	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,5422222	15,6433333	54374	61,66706244
914	Dolní Lánov	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,6072222	15,6652778	54341	62,46434234
925	Dolní Morava	Ústí nad Orlicí	Pardubický kraj	50,1247222	16,7991667	56169	65,41380011
931	Dolní Olešnice	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,5266667	15,7144444	54375	60,21073073
972	Domoraz	Klatovy	Plzeňský kraj	49,2516667	13,6711111	34201	59,7300759
1034	Drslavice	Prachatice	Jihočeský kraj	49,0263889	13,9216667	38421	62,16306524
1067	Dublovce	Příbram	Středočeský kraj	49,6694444	14,3647222	26251 - 26401	62,55926859
1085	Dvory	Prachatice	Jihočeský kraj	49,0427778	13,9461111	38421	59,78869484
1154	Hanušovice	Šumperk	Olomoucký kraj	50,0797222	16,9336111	78833	63,50649271
1174	Hejtmánkovice	Náchod	Královéhradecký kraj	50,6025000	16,2938889	55001	69,39498887
1190	Hejtmánkovice	Náchod	Královéhradecký kraj	50,6283333	16,3252778	54984 - 55001	72,42207158
1213	Hlínka	Bruntál	Moravskoslezský kraj	50,2808333	17,6747222	79399	61,95792093
1328	Horní Kalná	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,5563889	15,6305556	54371	60,48850105
1345	Horní Maršov	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,6636111	15,8180556	54226	73,63984474
1353	Horní Olešnice	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,5336111	15,6802778	54374 - 54375	61,71893307
1389	Horní Vltavice	Prachatice	Jihočeský kraj	48,9544444	13,7616667	38491	74,75832211
1396	Horská Kvilda	Klatovy	Plzeňský kraj	49,0597222	13,5616667	34192 - 38501	70,80462434

1430	Hostinné	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,5433333	15,7241667	54371	61,80089267
1469	Hradec-Nová Ves	Jeseník	Olomoucký kraj	50,2831690	17,2812240	79083	61,5645361
1495	Hrčava	Frýdek-Místek	Moravskoslezský kraj	49,5205556	18,8350000	73998	59,28316125
1576	Hynčice	Náchod	Královéhradecký kraj	50,6227778	16,2858333	54983	71,6233424
1719	Chvaleč	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,5955556	16,0425000	54103 - 54211	68,48974107
1772	Janoušov	Šumperk	Olomoucký kraj	50,0141667	16,8447222	78991	59,90926243
1784	Janské Lázně	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,6316667	15,7822222	54225	70,69228782
1806	Javorník	Jeseník	Olomoucký kraj	50,3922222	17,0041667	79070	81,87551503
1850	Jetřichov	Náchod	Královéhradecký kraj	50,6100000	16,2600000	54983	70,17466259
1887	Jindřichov	Šumperk	Olomoucký kraj	50,1005556	16,9908333	78823	62,27904469
1914	Jívka	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,5586111	16,1088889	54213	65,984084
1973	Kamýk nad Vltavou	Příbram	Středočeský kraj	49,6391667	14,2522222	26263	60,15580282
2004	Kašperské Hory	Klatovy	Plzeňský kraj	49,1452778	13,5655556	34192	62,77672179
2047	Klásterská Lhota	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,5602778	15,6680556	54371	63,03950812
2093	Kňovice	Příbram	Středočeský kraj	49,6863889	14,4041667	26293 - 26401	59,5166461
2100	Kobylá nad Vidnavkou	Jeseník	Olomoucký kraj	50,3420640	17,1236450	79056	72,50230037
2161	Kopřivná	Šumperk	Olomoucký kraj	50,0494444	16,9477778	78833	59,99762242
2185	Kosova Hora	Příbram	Středočeský kraj	49,6536111	14,4722222	26291 - 26401	60,55758808
2285	Králíky	Ústí nad Orlicí	Pardubický kraj	50,0819444	16,7602778	56169	64,29449584
2288	Královec	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,6783333	15,9719444	54203	76,25739253
2305	Krásná Hora nad Vltavou	Příbram	Středočeský kraj	49,6033333	14,2783333	26256	59,04806217
2325	Kratušín	Prachatice	Jihočeský kraj	49,0213889	13,9341667	38421	62,31975846
2383	Křepeňice	Příbram	Středočeský kraj	49,7033333	14,3458333	26401	59,47639016
2397	Křínice	Náchod	Královéhradecký kraj	50,5711111	16,3127778	55001	66,00508674
2421	Kubova Huť	Prachatice	Jihočeský kraj	48,9836111	13,7738889	38501	71,5539331
2433	Kunčice nad Labem	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,5833333	15,6227778	54361	59,57403651
2475	Kvilda	Prachatice	Jihočeský kraj	49,0186111	13,5863889	38493	75,69543668
2500	Lampertice	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,6613889	15,9527778	54101	74,18755714
2502	Lánov	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,6313889	15,6636111	54341	62,44118228
2531	Lažistě	Prachatice	Jihočeský kraj	49,0394444	13,9319444	38432	60,53262611
2550	Lenora	Prachatice	Jihočeský kraj	48,9250000	13,8044444	38442 - 38444	73,02626759
2701	Lipová-lázně	Jeseník	Olomoucký kraj	50,2291667	17,1552778	79061 - 79063	60,9685412
2804	Lovčovice	Třebíč	Vysočina	48,9800000	15,5391667	67531	59,97684331
2817	Lubnice	Znojmo	Jihomoravský kraj	48,9397222	15,6155556	67107	61,09377774
2887	Malá Morava	Šumperk	Olomoucký kraj	50,1083333	16,8263889	78833	67,7707572
2892	Malá Úpa	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,7266667	15,8186111	54227	75,0735328
2902	Malé Svatoňovice	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,5350000	16,0483333	54234	62,30931357
2950	Martínkovice	Náchod	Královéhradecký kraj	50,5491667	16,3430556	54973	63,83675912
3009	Meziměstí	Náchod	Královéhradecký kraj	50,6247222	16,2436111	54981	71,83198089
3029	Mikulovice	Jeseník	Olomoucký kraj	50,3044444	17,3344444	79083 - 79084	62,61598721
3093	Mladé Buky	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,6080556	15,8441667	54223	67,77137765
3128	Modrava	Klatovy	Plzeňský kraj	49,0250000	13,4947222	34192	72,39290822
3237	Nalžovice	Příbram	Středočeský kraj	49,7000000	14,3713889	26293 - 26401	59,31467207
3352	Nezamyslice	Klatovy	Plzeňský kraj	49,2627778	13,6722222	34201	59,37514041
3360	Nicov	Prachatice	Jihočeský kraj	49,1266667	13,6227778	38473	66,90436972

3386	Nová Pec	Prachatice	Jihočeský kraj	48,7936111	13,9508333	38451 - 38462	62,31233591
3430	Nové Hutě	Prachatice	Jihočeský kraj	49,0391667	13,6522222	38501	72,6041776
3433	Nové Město na Moravě	Žďár nad Sázavou	Vysočina	49,5636111	16,0750000	59231	59,96992491
3608	Orlíčky	Ústí nad Orlicí	Pardubický kraj	50,0313889	16,6811111	56155	59,40707113
3641	Osoblaha	Bruntál	Moravskoslezský kraj	50,2741667	17,7161111	79399	62,62233911
3668	Ostružná	Jeseník	Olomoucký kraj	50,1858333	17,0555556	78826	62,78176882
3688	Otovice	Náchod	Královéhradecký kraj	50,5569444	16,3913889	54972	65,340313
3751	Pec pod Sněžkou	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,6966667	15,7383333	54221 - 54222	68,76745708
3811	Pilníkov	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,5361111	15,8194444	54242	59,86089836
3812	Písařov	Šumperk	Olomoucký kraj	50,0072222	16,8011111	78991	61,16985517
3813	Písečná	Jeseník	Olomoucký kraj	50,2738889	17,2591667	79082	61,23962798
3816	Písečné	Jindřichův Hradec	Jihočeský kraj	48,9655556	15,4622222	37872 - 37881	64,34748786
3871	Počepice	Příbram	Středočeský kraj	49,5969444	14,3822222	26255	59,23367406
3942	Police nad Metují	Náchod	Královéhradecký kraj	50,5366667	16,2355556	54954	62,07279388
3998	Prachatice	Prachatice	Jihočeský kraj	49,0136111	14,0019444	38301	59,77488047
4006	Prášíly	Klatovy	Plzeňský kraj	49,1075000	13,3822222	34143 - 34201	61,27835558
4023	Prosečné	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,5663889	15,6863889	54373	64,23372978
4105	Příčovy	Příbram	Středočeský kraj	49,6719444	14,3891667	26401	61,45062502
4228	Radvanice	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,5686111	16,0644444	54212	66,2014017
4273	Rejštejn	Klatovy	Plzeňský kraj	49,1419444	13,5205556	34192 - 34201	61,34322155
4365	Rtyně v Podkrkonoší	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,5066667	16,0683333	54233	60,01800009
4378	Rudník	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,5908333	15,7319444	54371 - 54372	66,80069175
4481	Sedlčany	Příbram	Středočeský kraj	49,6575000	14,4258333	26401	61,54698477
4566	Skorošice	Jeseník	Olomoucký kraj	50,3047222	17,0763889	79066	71,0283584
4631	Slezské Pavlovice	Bruntál	Moravskoslezský kraj	50,3119444	17,7019444	79399	65,90877234
4682	Soběšice	Klatovy	Plzeňský kraj	49,2097222	13,6880556	34201	60,00237446
4727	Srní	Klatovy	Plzeňský kraj	49,0891667	13,4825000	34192 - 34194	65,41111508
4733	Stachy	Prachatice	Jihočeský kraj	49,1038889	13,6652778	38473	67,26343249
4744	Stará Červená Voda	Jeseník	Olomoucký kraj	50,3263889	17,1991667	79053	68,35281443
4758	Staré Hobzí	Jindřichův Hradec	Jihočeský kraj	49,0127778	15,4533333	37871 - 38001	60,62962278
4765	Staré Město	Šumperk	Olomoucký kraj	50,1625000	16,9477778	78832	67,89686721
4779	Stárkov	Náchod	Královéhradecký kraj	50,5336111	16,1608333	54936	62,40988186
4816	Stožec	Prachatice	Jihočeský kraj	48,8594444	13,8272222	38444	72,11310642
4836	Strašín	Klatovy	Plzeňský kraj	49,1788889	13,6427778	34165 - 34201	63,49370373
4852	Strážné	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,6627778	15,6147222	54352	59,46406321
4854	Strážný	Prachatice	Jihočeský kraj	48,9061111	13,7261111	38443 - 38444	78,83464958
4946	Suchovršice	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,5238889	16,0011111	54232	60,00740426
4948	Suchý Důl	Náchod	Královéhradecký kraj	50,5411111	16,2702778	54954 - 54962	62,51755082
4957	Supikovice	Jeseník	Olomoucký kraj	50,2997222	17,2597222	79051	63,84909049
4964	Svatá Maří	Prachatice	Jihočeský kraj	49,0669444	13,8375000	38421 - 38501	61,29601726
4972	Svatý Jan	Příbram	Středočeský kraj	49,6383333	14,3125000	26256 - 26264	63,55911059
5005	Svoboda nad Úpou	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,6269444	15,8144444	54224	69,96068349
5075	Šléglov	Šumperk	Olomoucký kraj	50,1533333	16,9833333	78825	65,18138478
5077	Šonov	Náchod	Královéhradecký kraj	50,5922222	16,4005556	54971	69,30705946
5080	Špindlerův Mlýn	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,7250000	15,6052778	54351	60,77530791

5115	Šumavské Hoštice	Prachatice	Jihočeský kraj	49,0419444	13,8688889	38421 - 38471	62,37516815
5163	Teplice nad Metují	Náchod	Královéhradecký kraj	50,5897222	16,1713889	54957	68,42043779
5254	Trutnov	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,5619444	15,9069444	54101	62,81640387
5359	Uhelná	Jeseník	Olomoucký kraj	50,3647222	17,0288889	79068	78,37458085
5364	Uherčice	Znojmo	Jihomoravský kraj	48,9150000	15,6311111	67107	59,29509368
5429	Úpice	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,5100000	16,0222222	54232	59,04498234
5469	Vacov	Prachatice	Jihočeský kraj	49,1355556	13,7355556	38473 - 38486	61,05828748
5495	Vápenná	Jeseník	Olomoucký kraj	50,2863889	17,0997222	79064	68,40129761
5551	Velká Kraš	Jeseník	Olomoucký kraj	50,3636111	17,1441667	70958 - 79058	73,83583388
5571	Velké Kunětice	Jeseník	Olomoucký kraj	50,3172222	17,2686111	79052	65,41632543
5577	Velké Petrovice	Náchod	Královéhradecký kraj	50,5202778	16,2161111	54931 - 54954	60,3595703
5582	Velké Svatoňovice	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,5366667	16,0297222	54234 - 54235	62,0075481
5615	Vernéřovice	Náchod	Královéhradecký kraj	50,6158333	16,2111111	54982	70,97394502
5668	Vidnava	Jeseník	Olomoucký kraj	50,3727778	17,1866667	79055	73,38052284
5674	Vikantice	Šumperk	Olomoucký kraj	50,1377778	16,9941667	78825	63,70306231
5685	Vimperk	Prachatice	Jihočeský kraj	49,0594444	13,7861111	38501	64,24938834
5739	Vlčice	Jeseník	Olomoucký kraj	50,3453780	17,0460790	79067	75,92203746
5740	Vlčice	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,5616667	15,8255556	54241	62,66724919
5784	Volary	Prachatice	Jihočeský kraj	48,9116667	13,8947222	38451	66,49723962
5818	Vratěšín	Znojmo	Jihomoravský kraj	48,9038889	15,6011111	67107	61,20201327
5935	Vysoký Chlumeč	Příbram	Středočeský kraj	49,6172222	14,3880556	26252	60,64391214
5956	Záblatí	Prachatice	Jihočeský kraj	48,9986111	13,9386111	38301 - 38433	63,90000747
5962	Zábrdí	Prachatice	Jihočeský kraj	49,0288889	13,9452778	38421	61,24483418
6060	Zbytiny	Prachatice	Jihočeský kraj	48,9413889	13,9800000	38301 - 38441	60,20040833
6072	Zdítov	Prachatice	Jihočeský kraj	49,0844444	13,7008333	38472 - 38473	66,60149287
6095	Zlatá Olešnice	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,6352778	15,9458333	54204	71,24398218
6137	Žacléř	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,6669444	15,9108333	54201	74,46958792
6151	Žárovná	Prachatice	Jihočeský kraj	49,0480556	13,9058333	38471	60,48301302
6164	Žďár nad Metují	Náchod	Královéhradecký kraj	50,5388889	16,2144444	54955 - 55205	62,43076759
6199	Želnavá	Prachatice	Jihočeský kraj	48,8191667	13,9716667	38451	61,75894776
6221	Žihobce	Klatovy	Plzeňský kraj	49,2161111	13,6308333	34162 - 34201	60,02676776
6247	Žulová	Jeseník	Olomoucký kraj	50,3066667	17,1038889	79056 - 79065	70,01969751
6249	Županovice	Jindřichův Hradec	Jihočeský kraj	48,9572222	15,5108333	37881	63,20225676

3. Minimalizace počtu nabíjecích stanic pro okresy Klatovy a Prachatice

Id	Název	Okres	Kraj	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka	PSČ	Poptávka	Vzdálenost MAX	xij		yij		Vypočtená lokace		Optimalizace umístění	
													Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka
493	Bukovník	Klatov	Plzeňský kraj	49,22444444	13,6725	34201	1	65,03023738	49,22444444	13,6725						
972	Domonaz	Klatov	Plzeňský kraj	49,25166667	13,67111111	34201	1	67,86552425	49,25166667	13,67111111						
1396	Horská Kvilda	Klatov	Plzeňský kraj	49,05972222	13,56166667	34192 - 38501	1	54,03571982	49,05972222	13,56166667						
2004	Kašperské Hory	Klatov	Plzeňský kraj	49,14527778	13,56555556	34192	1	61,16638167	49,14527778	13,56555556						
3128	Modrava	Klatov	Plzeňský kraj	49,025	13,49472222	34192	1	55,10871111	49,025	13,49472222						
3352	Nezamyslice	Klatov	Plzeňský kraj	49,26277778	13,67222222	34201	1	68,98408379	49,26277778	13,67222222						
4006	Přístihy	Klatov	Plzeňský kraj	49,1075	13,38222222	34143 - 34201	1	67,24225508	49,1075	13,38222222						
4273	Rejštejn	Klatov	Plzeňský kraj	49,14194444	13,52055556	34192 - 34201	1	62,86743412	49,14194444	13,52055556						
4682	Soběšice	Klatov	Plzeňský kraj	49,20972222	13,68805556	34201	1	63,08301057	49,20972222	13,68805556						
4727	Smi	Klatov	Plzeňský kraj	49,08916667	13,4825	34192 - 34194	1	60,43466345	49,08916667	13,4825						
4836	Strašín	Klatov	Plzeňský kraj	49,17888889	13,64277778	34165 - 34201	1	61,38016644	49,17888889	13,64277778						
6221	Zihobce	Klatov	Plzeňský kraj	49,21611111	13,63083333	34162 - 34201	1	65,45890113	49,21611111	13,63083333						
222	Bohumilice	Prachatice	Jihočeský kraj	49,09611111	13,82111111	38481	1	47,94514217	49,09611111	13,82111111						
279	Borová Lada	Prachatice	Jihočeský kraj	48,99083333	13,67194444	38492	1	43,23884931	48,99083333	13,67194444						
473	Buk	Prachatice	Jihočeský kraj	49,04194444	13,85083333	38421	1	47,90367219	49,04194444	13,85083333						
1034	Drslavice	Prachatice	Jihočeský kraj	49,02638889	13,92166667	38421	1	53,32133922	49,02638889	13,92166667						
1085	Dvory	Prachatice	Jihočeský kraj	49,04277778	13,94611111	38421	1	54,6994708	49,04277778	13,94611111						
1389	Horní Vltavice	Prachatice	Jihočeský kraj	48,95444444	13,76166667	38491	1	47,89782032	48,95444444	13,76166667						
2325	Kratusín	Prachatice	Jihočeský kraj	49,02138889	13,93416667	38421	1	54,3366242	49,02138889	13,93416667						
2421	Kubova Huť	Prachatice	Jihočeský kraj	48,98361111	13,77388889	38501	1	44,91135218	48,98361111	13,77388889						
2475	Kvilda	Prachatice	Jihočeský kraj	49,01861111	13,58638889	38493	1	49,54365269	49,01861111	13,58638889						
2531	Lažistě	Prachatice	Jihočeský kraj	49,03944444	13,93194444	38432	1	53,75196642	49,03944444	13,93194444						
2550	Lemna	Prachatice	Jihočeský kraj	48,925	13,80444444	38442 - 38444	1	51,77342536	48,925	13,80444444						
3360	Nicov	Prachatice	Jihočeský kraj	49,12666667	13,62277778	38473	1	57,10399582	49,12666667	13,62277778						
3386	Nová Péc	Prachatice	Jihočeský kraj	48,79361111	13,95083333	38451 - 38462	1	68,98408379	48,79361111	13,95083333						
3430	Nové Hutě	Prachatice	Jihočeský kraj	49,03916667	13,65222222	38501	1	47,95227032	49,03916667	13,65222222						
3998	Prachatice	Prachatice	Jihočeský kraj	49,01361111	14,00194444	38301	1	59,34585778	49,01361111	14,00194444						
4733	Stadky	Prachatice	Jihočeský kraj	49,10388889	13,66527778	38473	1	53,31346447	49,10388889	13,66527778						
4816	Stodex	Prachatice	Jihočeský kraj	48,85944444	13,82722222	38444	1	59,24865197	48,85944444	13,82722222						
4854	Strážný	Prachatice	Jihočeský kraj	48,90611111	13,72611111	38443 - 38444	1	52,8532265	48,90611111	13,72611111						
4964	Svatá Maří	Prachatice	Jihočeský kraj	49,06694444	13,8375	38421 - 38501	1	46,45974147	49,06694444	13,8375						
5115	Šumavské Hoštice	Prachatice	Jihočeský kraj	49,04194444	13,86888889	38421 - 38471	1	49,19088987	49,04194444	13,86888889						
5409	Vacov	Prachatice	Jihočeský kraj	49,13555556	13,73555556	38473 - 38486	1	54,14232902	49,13555556	13,73555556						
5685	Vimperk	Prachatice	Jihočeský kraj	49,05944444	13,78611111	38501	1	44,9151327	49,05944444	13,78611111						
5784	Volav	Prachatice	Jihočeský kraj	48,91166667	13,89472222	38451	1	56,25997102	48,91166667	13,89472222						
5956	Záblatí	Prachatice	Jihočeský kraj	48,99861111	13,93861111	38301 - 38433	1	55,31469568	48,99861111	13,93861111						
5962	Zábrdí	Prachatice	Jihočeský kraj	49,02888889	13,94527778	38421	1	54,93980493	49,02888889	13,94527778						
6060	Zbytín	Prachatice	Jihočeský kraj	48,94138889	13,98	38301 - 38441	1	60,33872564	48,94138889	13,98						
6072	Zdítov	Prachatice	Jihočeský kraj	49,08444444	13,70083333	38472 - 38473	1	50,13817834	49,08444444	13,70083333						
6151	Zárovná	Prachatice	Jihočeský kraj	49,04805556	13,90583333	38471	1	51,70645528	49,04805556	13,90583333						
6199	Zelna	Prachatice	Jihočeský kraj	48,81916667	13,97166667	38451	1	66,94045041	48,81916667	13,97166667						
41									2011,031389	564,000278			49,04954607	13,75610434	49,05447693	13,79816438

Před minimalizací	Okres	Kraj	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka
	Klatov	Plzeňský kraj	49,23926958	13,52086933
	Prachatice	Jihočeský kraj	49,06713117	13,78199229
Po minimalizaci	Okres	Kraj	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka
	Prachatice	Jihočeský kraj	49,05447693	13,79816438

4. Minimalizace počtu nabíjecích stanic pro okresy Náchod a Trutnov

											Vypočtená lokace		Optimalizace umístění		
Id	Název	Okres	Kraj	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka	PSČ	Poptávka	Vzdálenost MAX	xij		Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka	
5	Adršpach	Náchod	Královéhradecký kraj	50,62083333	16,11194444	54952	1	50,84894106	50,62083333	16,11194444					
319	Božanov	Náchod	Královéhradecký kraj	50,52555556	16,35638889	54974	1	70,43778345	50,52555556	16,35638889					
378	Brannov	Náchod	Královéhradecký kraj	50,58138889	16,33694444	54983 - 55001	1	66,99679347	50,58138889	16,33694444					
485	Bukovice	Náchod	Královéhradecký kraj	50,55027778	16,22916667	54961	1	61,0964671	50,55027778	16,22916667					
688	Česká Metuje	Náchod	Královéhradecký kraj	50,545	16,18305556	54931 - 54956	1	58,39857919	50,545	16,18305556					
1174	Hajtmánkovice	Náchod	Královéhradecký kraj	50,6025	16,29388889	55001	1	63,41045523	50,6025	16,29388889					
1190	Heřmankovice	Náchod	Královéhradecký kraj	50,62833333	16,32527778	54984 - 55001	1	65,55677967	50,62833333	16,32527778					
1576	Hynčice	Náchod	Královéhradecký kraj	50,62277778	16,28583333	54983	1	62,70733386	50,62277778	16,28583333					
1850	Jetřichov	Náchod	Královéhradecký kraj	50,61	16,26	54983	1	60,88210573	50,61	16,26					
2397	Křínice	Náchod	Královéhradecký kraj	50,57111111	16,31277778	55001	1	65,73657224	50,57111111	16,31277778					
2950	Martínkovice	Náchod	Královéhradecký kraj	50,54916667	16,34305556	54973	1	68,5824122	50,54916667	16,34305556					
3009	Meziměstí	Náchod	Královéhradecký kraj	50,62472222	16,24361111	54981	1	59,8769233	50,62472222	16,24361111					
3688	Otovice	Náchod	Královéhradecký kraj	50,55694444	16,39138889	54972	1	71,49906919	50,55694444	16,39138889					
3942	Police nad Metují	Náchod	Královéhradecký kraj	50,53666667	16,23555556	54954	1	62,14051489	50,53666667	16,23555556					
4779	Stárvov	Náchod	Královéhradecký kraj	50,53361111	16,16083333	54936	1	57,59182815	50,53361111	16,16083333					
4948	Suchý Důl	Náchod	Královéhradecký kraj	50,54111111	16,27027778	54954 - 54962	1	64,16509934	50,54111111	16,27027778					
5077	Sonov	Náchod	Královéhradecký kraj	50,59222222	16,40055556	54971	1	70,97110239	50,59222222	16,40055556					
5163	Teplíce nad Metují	Náchod	Královéhradecký kraj	50,58972222	16,17138889	54957	1	55,64743059	50,58972222	16,17138889					
5577	Velké Petrovice	Náchod	Královéhradecký kraj	50,52027778	16,21611111	54931 - 54954	1	61,73426847	50,52027778	16,21611111					
5615	Vernéřovice	Náchod	Královéhradecký kraj	50,61583333	16,21111111	54982	1	57,40757009	50,61583333	16,21111111					
6164	Zdár nad Metují	Náchod	Královéhradecký kraj	50,53888889	16,21444444	54955 - 55205	1	60,68904495	50,53888889	16,21444444					
54	Banňovice	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,51388889	16,05277778	54237	1	39,341686	50,51388889	16,05277778					
111	Benetice	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,64638889	15,96527778	54204	1	44,67524711	50,64638889	15,96527778					
286	Borovnice	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,51361111	15,60333333	54477	1	69,99723976	50,51361111	15,60333333					
629	Cemná	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,55305556	15,76972222	54377	1	57,76158124	50,55305556	15,76972222					
666	Černý Důl	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,63861111	15,70888889	54343 - 54372	1	62,07268712	50,63861111	15,70888889					
901	Dolní Dvůr	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,655	15,65638889	54342	1	66,0021973	50,655	15,65638889					
909	Dolní Kalná	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,54222222	15,64333333	54374	1	66,76902975	50,54222222	15,64333333					
914	Dolní Lánov	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,60722222	15,66527778	54341	1	64,92192238	50,60722222	15,66527778					
931	Dolní Olešnice	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,52666667	15,71444444	54375	1	62,01154522	50,52666667	15,71444444					
1328	Horní Kalná	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,55638889	15,63055556	54371	1	67,52089335	50,55638889	15,63055556					
1345	Horní Maršov	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,66361111	15,81805556	54226	1	55,19902979	50,66361111	15,81805556					
1353	Horní Olešnice	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,53361111	15,68027778	54374 - 54375	1	64,29197728	50,53361111	15,68027778					
1430	Hostinné	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,54333333	15,72416667	54371	1	61,07954356	50,54333333	15,72416667					
1719	Chvalč	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,59555556	16,0425	54103 - 54211	1	38,27711041	50,59555556	16,0425					
1784	Janské Lázně	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,63166667	15,78222222	54225	1	56,84992854	50,63166667	15,78222222					
1914	Jívka	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,55861111	16,10888889	54213	1	40,04311149	50,55861111	16,10888889					
2047	Klátecká Lhota	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,56027778	15,66805556	54371	1	64,84667196	50,56027778	15,66805556					
2288	Královec	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,67833333	15,97194444	54203	1	45,52569334	50,67833333	15,97194444					
2433	Kunčice nad Labem	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,58333333	15,62277778	54361	1	67,91753029	50,58333333	15,62277778					
2500	Lampertice	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,66138889	15,95277778	54101	1	46,05774626	50,66138889	15,95277778					
2502	Lánov	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,63138889	15,66361111	54341	1	65,18145653	50,63138889	15,66361111					
2892	Malá Úpa	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,72666667	15,81861111	54227	1	57,58142816	50,72666667	15,81861111					
2902	Malé Svatoňovice	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,535	16,04833333	54234	1	38,67938652	50,535	16,04833333					
3093	Mladé Buky	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,60805556	15,84416667	54223	1	52,30850575	50,60805556	15,84416667					
3751	Pec pod Sněžkou	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,69666667	15,73833333	54221 - 54222	1	61,61483786	50,69666667	15,73833333					
3811	Pílníkov	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,53611111	15,81944444	54242	1	54,51674445	50,53611111	15,81944444					
4023	Prosečné	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,56638889	15,68638889	54373	1	63,50874859	50,56638889	15,68638889					
4228	Radvanice	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,56861111	16,06444444	54212	1	36,87695296	50,56861111	16,06444444					
4365	Rtyň v Podkrkonoší	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,50666667	16,06833333	54233	1	40,70353856	50,50666667	16,06833333					
4378	Rudník	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,59083333	15,73194444	54371 - 54372	1	60,19836575	50,59083333	15,73194444					
4852	Strážné	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,66277778	15,61472222	54352	1	69,05367632	50,66277778	15,61472222					
4946	Suchovrčice	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,52388889	16,00111111	54232	1	42,22251806	50,52388889	16,00111111					
5005	Svoboda nad Úpou	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,62694444	15,81444444	54224	1	54,53831506	50,62694444	15,81444444					
5080	Spindlův Mlýn	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,725	15,60527778	54351	1	71,49906919	50,725	15,60527778					
5254	Trutnov	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,56194444	15,90694444	54101	1	48,01760252	50,56194444	15,90694444					
5429	Úpice	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,51	16,02222222	54232	1	41,25034502	50,51	16,02222222					
5582	Velké Svatoňovice	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,53666667	16,02972222	54234 - 54235	1	39,91132861	50,53666667	16,02972222					
5740	Vlčice	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,56166667	15,82555556	54241	1	53,74449915	50,56166667	15,82555556					
6095	Zlatá Olešnice	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,63527778	15,94583333	54204	1	45,63324248	50,63527778	15,94583333					
6137	Zachč	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,66694444	15,91083333	54201	1	49,04696901	50,66694444	15,91083333					
									12	607,0436111	191,2047222	50,58696759	15,93372685	50,52522383	15,81181065

Před minimalizací	Okres	Kraj	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka
	Náchod	Královéhradecký kraj	50,59070716	16,31858065
	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,62247994	15,6472536
Po minimalizaci	Okres	Kraj	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka
	Trutnov	Královéhradecký kraj	50,52522383	15,81181065

5. Minimalizace počtu nabíjecích stanic pro okresy Jeseník, Ústí nad Orlicí a Šumperk

Id	Název	Okres	Kraj	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka	PSČ	Poptávka	Vzdálenost MAX	xij	yij	Vypočtená lokace		Optimalizace umístění	
											Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka
108	Bemartice	Jeseník	Olomoucký kraj	50,3888889	17,0806333	79057	1	59,87777281	50,3888889	17,0806333				
141	Bílá Voda	Jeseník	Olomoucký kraj	50,44416667	16,90777778	79069	1	62,17497337	50,44416667	16,9077778				
636	Černá Voda	Jeseník	Olomoucký kraj	50,31055556	17,15638889	79054	1	55,16881095	50,31055556	17,15638889				
692	Česká Ves	Jeseník	Olomoucký kraj	50,25472222	17,22694444	79081	1	53,97200933	50,25472222	17,22694444				
1469	Hradec-Nová Ves	Jeseník	Olomoucký kraj	50,283169	17,281224	79083	1	58,95604832	50,283169	17,281224				
1806	Javorník	Jeseník	Olomoucký kraj	50,39222222	17,00416667	79070	1	58,18388904	50,39222222	17,00416667				
2100	Kobylá nad Vídnavkou	Jeseník	Olomoucký kraj	50,342064	17,123645	79056	1	56,7475539	50,342064	17,123645				
2701	Lipová-Lázně	Jeseník	Olomoucký kraj	50,22916667	17,1552778	79061 - 79063	1	48,30863288	50,22916667	17,1552778				
3029	Mikulovice	Jeseník	Olomoucký kraj	50,30444444	17,33444444	79083 - 79084	1	63,35832048	50,30444444	17,33444444				
3668	Ostružná	Jeseník	Olomoucký kraj	50,18583333	17,05555556	78826	1	39,90462995	50,18583333	17,05555556				
3813	Pisecná	Jeseník	Olomoucký kraj	50,27388889	17,25916667	79082	1	57,10022286	50,27388889	17,25916667				
4566	Skorošice	Jeseník	Olomoucký kraj	50,30472222	17,07638889	79066	1	51,45679002	50,30472222	17,07638889				
4744	Stará Červená Voda	Jeseník	Olomoucký kraj	50,32638889	17,19916667	79053	1	58,4240811	50,32638889	17,19916667				
4957	Supíkovice	Jeseník	Olomoucký kraj	50,29972222	17,25972222	79051	1	59,10250895	50,29972222	17,25972222				
5359	Uhelná	Jeseník	Olomoucký kraj	50,36472222	17,02888889	79068	1	55,93287915	50,36472222	17,02888889				
5495	Vápenná	Jeseník	Olomoucký kraj	50,28638889	17,09972222	79064	1	50,63435169	50,28638889	17,09972222				
5551	Velká Kraš	Jeseník	Olomoucký kraj	50,36361111	17,14416667	70958 - 79058	1	39,55108375	50,36361111	17,14416667				
5571	Velké Kunětice	Jeseník	Olomoucký kraj	50,31722222	17,26861111	79052	1	60,92896438	50,31722222	17,26861111				
5668	Vídnavá	Jeseník	Olomoucký kraj	50,37277778	17,18666667	79055	1	62,04746676	50,37277778	17,18666667				
5739	Vlčice	Jeseník	Olomoucký kraj	50,345378	17,046079	79067	1	54,45074344	50,345378	17,046079				
6247	Žulová	Jeseník	Olomoucký kraj	50,30666667	17,10388889	79056 - 79065	1	52,67290019	50,30666667	17,10388889				
342	Branná	Šumperk	Olomoucký kraj	50,15222222	17,01333333	78825	1	46,31731925	50,15222222	17,01333333				
1154	Hamušovice	Šumperk	Olomoucký kraj	50,07972222	16,93361111		1	53,56595805	50,07972222	16,93361111				
1772	Janoušov	Šumperk	Olomoucký kraj	50,01416667	16,84472222	78991	1	61,02373559	50,01416667	16,84472222				
1887	Jindřichov	Šumperk	Olomoucký kraj	50,10055556	16,99083333	78823	1	51,66106486	50,10055556	16,99083333				
2161	Kopřivná	Šumperk	Olomoucký kraj	50,04944444	16,94777778	78833	1	56,98316949	50,04944444	16,94777778				
2887	Malá Morava	Šumperk	Olomoucký kraj	50,10833333	16,82638889	78833	1	55,22372886	50,10833333	16,82638889				
3812	Pisavov	Šumperk	Olomoucký kraj	50,00722222	16,80111111	78991	1	63,35832048	50,00722222	16,80111111				
4765	Staré Město	Šumperk	Olomoucký kraj	50,1625	16,94777778	78832	1	44,70962074	50,1625	16,94777778				
5075	Šléglov	Šumperk	Olomoucký kraj	50,15333333	16,98333333	78825	1	45,78146155	50,15333333	16,98333333				
5674	Vikantice	Šumperk	Olomoucký kraj	50,13777778	16,99416667	78825	1	47,61724518	50,13777778	16,99416667				
672	Červená Voda	Ústí nad Orlicí	Pardubický kraj	50,04194444	16,74333333	56161	1	64,22615601	50,04194444	16,74333333				
925	Dolní Morava	Ústí nad Orlicí	Pardubický kraj	50,12472222	16,79916667	56169	1	56,01204662	50,12472222	16,79916667				
2285	Krátký	Ústí nad Orlicí	Pardubický kraj	50,08194444	16,7602778	56169	1	60,7777622	50,08194444	16,7602778				
3608	Orlíčky	Ústí nad Orlicí	Pardubický kraj	50,03138889	16,68111111	56155	1	68,56264785	50,03138889	16,68111111				
							35		1757,942	1757,942	50,24716129	17,07360585	50,22171035	17,18243519

Před minimalizací	Okres	Kraj	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka
	Jeseník	Olomoucký kraj	50,22177863	17,1824623
	Šumperk	Olomoucký kraj	50,08062497	16,93685958
	Ústí nad Orlicí	Pardubický kraj	49,96600882	16,40498044
Po minimalizaci	Okres	Kraj	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka
	Jeseník	Olomoucký kraj	50,52522383	15,81181065

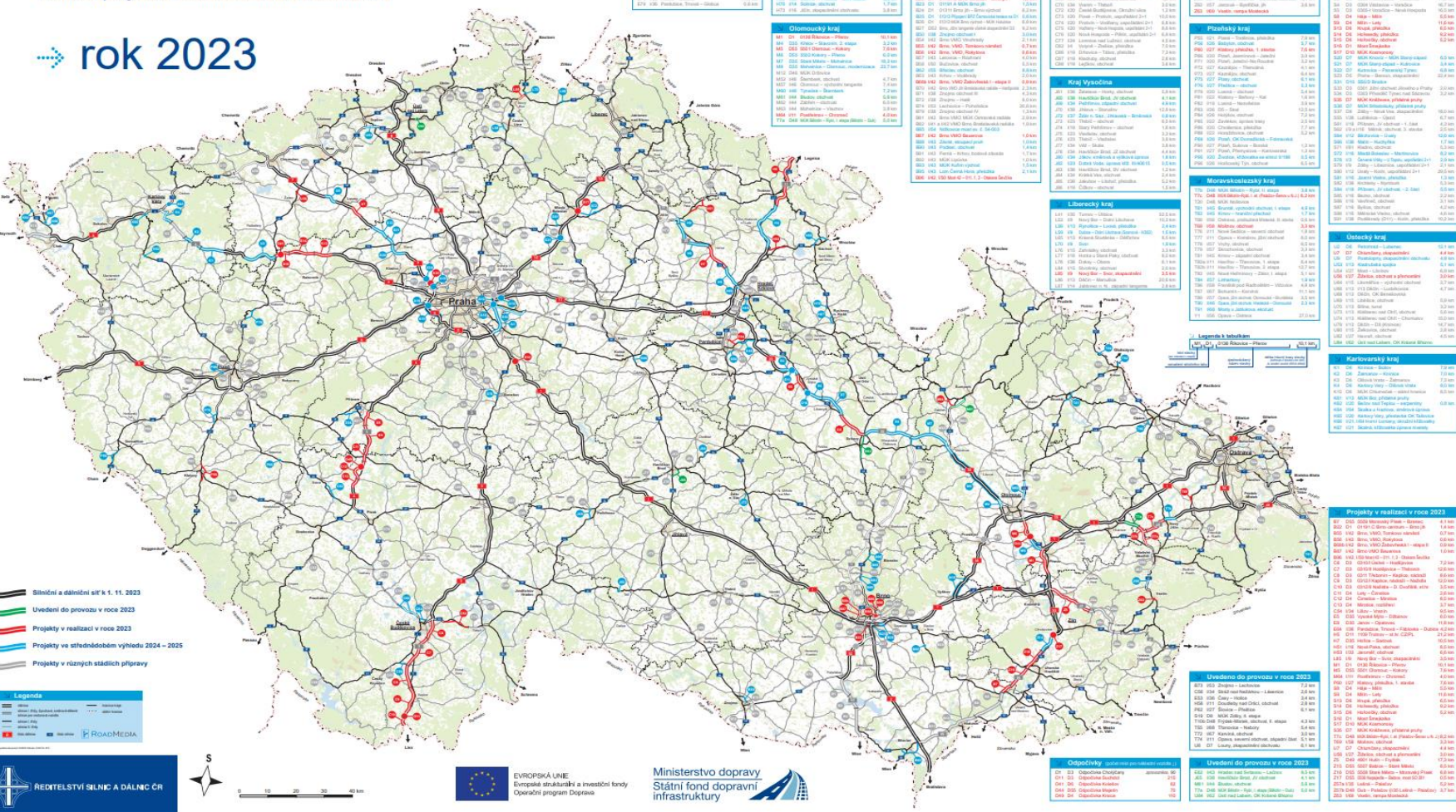
6. Minimalizace počtu nabíjecích stanic pro okresy Jindřichův Hradec, Třebíč a Znojmo

Id	Název	Okres	Kraj	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka	PSČ	Poptávka	Vzdálenost MAX	xij	yij	Vypočtená lokace		Optimalizace umístění	
											Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka
777	Dešná	Jindřichův Hradec	Jihočeský kraj	48,95833333	15,54722222	37873 - 37881		1	22,14272796	48,95833333	15,54722222			
3816	Písečné	Jindřichův Hradec	Jihočeský kraj	48,96555556	15,46222222	37872 - 37881		1	26,5558341	48,96555556	15,46222222			
4758	Staré Hobzí	Jindřichův Hradec	Jihočeský kraj	49,01277778	15,45333333	37871 - 38001		1	29,93064223	49,01277778	15,45333333			
6249	Zupanovice	Jindřichův Hradec	Jihočeský kraj	48,95722222	15,51083333	37881		1	22,96133494	48,95722222	15,51083333			
35	Bačkovice	Třebíč	Vysočina	48,96861111	15,58916667	67532		1	24,06100875	48,96861111	15,58916667			
2804	Levčovice	Třebíč	Vysočina	48,98	15,53916667	67531		1	22,86324647	48,98	15,53916667			
2817	Lahovice	Znojmo	Jihomoravský kraj	48,93972222	15,61555556	67107		1	27,35865678	48,93972222	15,61555556			
5364	Uherčice	Znojmo	Jihomoravský kraj	48,915	15,63111111	67107		1	29,93064223	48,915	15,63111111			
5818	Vratěnín	Znojmo	Jihomoravský kraj	48,90388889	15,60111111	67107		1	29,21769036	48,90388889	15,60111111			
							9		440,6011111	139,9497222	48,95567901	15,54996914	48,99649707	15,34908357

Před minimalizací	Okres	Kraj	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka
	Jindřichův Hradec	Jihočeský kraj	48,99649707	15,34908357
	Třebíč	Vysočina	49,24615051	15,76848675
	Znojmo	Jihomoravský kraj	48,84812086	16,07493434
Po minimalizaci	Okres	Kraj	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka
	Jindřichův Hradec	Jihočeský kraj	48,99649707	15,34908357

Česká republika

→ rok 2023



8. Matice vzdáleností modifikovaná Mayerova metoda

PSČ	Plzeň 33441	Horažďovice 34101	Zbůch 33022	Dolní Bělá 33152	Mýto v Čechách 33805	Ledce u Plzně 33014	Erpužice 34901	Nýřany 33023	Holýšov 34562	Pernarec 33036	Domažlice 34401	Miřosov 33843	Myslinka 33023	Žihobce 34201	Depo Plzeň 32300
Plzeň	0,00	72,88	9,98	21,86	44,23	16,21	37,97	7,12	23,98	27,88	49,26	41,81	8,29	89,45	5,64
Horažďovice	72,88	0,00	73,44	88,46	79,22	80,27	101,00	73,14	68,49	94,48	64,16	57,98	75,26	16,85	66,06
Zbůch	9,98	73,44	0,00	25,74	45,56	23,24	34,60	6,30	14,09	31,76	39,36	43,13	8,42	90,77	10,34
Dolní Bělá	21,86	88,46	25,74	0,00	48,39	7,68	27,84	22,92	39,78	19,30	65,05	45,97	17,32	98,66	23,69
Mýto v Čechách	44,23	79,22	45,56	48,39	0,00	38,50	74,44	46,59	60,89	54,32	86,17	15,96	48,70	95,34	39,51
Ledce u Plzně	16,21	80,27	23,24	7,68	38,50	0,00	29,50	22,64	37,64	21,61	62,91	36,21	17,04	89,39	15,50
Erpužice	37,97	101,00	34,60	27,84	74,44	29,50	0,00	28,52	35,60	8,78	48,68	71,92	35,35	119,56	39,49
Nýřany	7,12	73,14	6,30	22,92	46,59	22,64	28,52	0,00	20,51	28,93	45,79	44,43	5,59	92,07	12,00
Holýšov	23,98	68,49	14,09	39,78	60,89	37,64	35,60	20,51	0,00	45,80	25,80	57,25	22,46	77,06	24,45
Pernarec	27,88	94,48	31,76	19,30	54,32	21,61	8,78	28,93	45,80	0,00	57,46	51,99	23,34	104,68	29,71
Domažlice	49,26	64,16	39,36	65,05	86,17	62,91	48,68	45,79	25,80	57,46	0,00	82,52	47,73	72,76	49,73
Miřosov	41,81	57,98	43,13	45,97	15,96	36,21	71,92	44,43	57,25	51,99	82,52	0,00	46,30	74,55	37,11
Myslinka	8,29	75,26	8,42	17,32	48,70	17,04	35,35	5,59	22,46	23,34	47,73	46,30	0,00	94,01	13,95
Žihobce	89,45	16,85	90,77	98,66	95,34	89,39	119,56	92,07	77,06	104,68	72,76	74,55	94,01	0,00	82,63
Depo Plzeň	5,64	66,06	10,34	23,69	39,51	15,50	39,49	12,00	24,45	29,71	49,73	37,11	13,95	82,63	0,00
Hmotnost elementů v Kg	1200	2419,92	644,46	5800,87	1230	1030	6062,82	236	1600,02	440	192	169	134	1227,62	
Počet elementů	4	4	1	11	2	2	11	1	4	1	1	1	1	2	

9. Matice vzdáleností modifikovaná Mayerova metoda založená na hmotnosti elementů, doplněná o přeskakující algoritmus a nabíjecí místa

	Plzeň 33441	Horažďovice 34101	Zbůch 33022	Dolní Bělá 33152	Mýto v Čechách 33805	Ledce u Plzně 33014	Erpužice 34901	Nýřany 33023	Holýšov 34562	Pernarec 33036	Domažlice 34401	Mírošov 33843	Myslinka 33023	Žihobce 34201	Depo Plzeň 32300
PSČ															
Plzeň	0,00	72,88	9,98	21,86	44,23	16,21	37,97	7,12	23,98	27,88	49,26	41,81	8,29	89,45	5,64
Horažďovice	72,88	0,00	73,44	88,46	79,22	80,27	101,00	73,14	68,49	94,48	64,16	57,98	75,26	16,85	66,06
Zbůch	9,98	73,44	0,00	25,74	45,56	23,24	34,60	6,30	14,09	31,76	39,36	43,13	8,42	90,77	10,34
Dolní Bělá	21,86	88,46	25,74	0,00	48,39	7,68	27,84	22,92	39,78	19,30	65,05	45,97	17,32	98,66	23,69
Mýto v Čechách	44,23	79,22	45,56	48,39	0,00	38,50	74,44	46,59	60,89	54,32	86,17	15,96	48,70	95,34	39,51
Ledce u Plzně	16,21	80,27	23,24	7,68	38,50	0,00	29,50	22,64	37,64	21,61	62,91	36,21	17,04	89,39	15,50
Erpužice	37,97	101,00	34,60	27,84	74,44	29,50	0,00	28,52	35,60	8,78	48,68	71,92	35,35	119,56	39,49
Nýřany	7,12	73,14	6,30	22,92	46,59	22,64	28,52	0,00	20,51	28,93	45,79	44,43	5,59	92,07	12,00
Holýšov	23,98	68,49	14,09	39,78	60,89	37,64	35,60	20,51	0,00	45,80	25,80	57,25	22,46	77,06	24,45
Pernarec	27,88	94,48	31,76	19,30	54,32	21,61	8,78	28,93	45,80	0,00	57,46	51,99	23,34	104,68	29,71
Domažlice	49,26	64,16	39,36	65,05	86,17	62,91	48,68	45,79	25,80	57,46	0,00	82,52	47,73	72,76	49,73
Mírošov	41,81	57,98	43,13	45,97	15,96	36,21	71,92	44,43	57,25	51,99	82,52	0,00	46,30	74,55	37,11
Myslinka	8,29	75,26	8,42	17,32	48,70	17,04	35,35	5,59	22,46	23,34	47,73	46,30	0,00	94,01	13,95
Žihobce	89,45	16,85	90,77	98,66	95,34	89,39	119,56	92,07	77,06	104,68	72,76	74,55	94,01	0,00	82,63
Depo Plzeň	5,64	66,06	10,34	23,69	39,51	15,50	39,49	12,00	24,45	29,71	49,73	37,11	13,95	82,63	0,00
Hmotnost elementů v Kg	1200	2419,92	644,46	5800,87	1230	1030	6062,82	236	1600,02	440	192	169	134	1227,62	
Počet elementů	4	4	1	11	2	2	11	1	4	1	1	1	1	2	

Nabíjecí stanice, podle okresů						
Domažlice	Klatovy	Plzeň-jih	Plzeň-město	Plzeň-sever	Rokycany	Tachov
48,79	45,40	21,86	6,09	8,45	31,29	42,55
69,23	37,09	53,72	66,38	77,58	66,26	108,64
39,57	48,50	24,96	10,65	8,59	34,38	39,74
65,22	63,33	30,23	24,12	17,35	35,78	58,33
85,12	65,16	28,63	37,73	48,93	13,64	80,00
62,81	55,15	20,45	15,94	17,07	25,99	58,05
48,86	76,05	52,51	40,82	36,58	61,93	26,75
45,79	48,19	24,65	12,96	5,73	34,08	34,17
25,98	34,00	27,97	24,73	22,59	48,38	41,79
57,64	69,36	36,25	30,15	23,37	41,81	35,53
5,12	31,76	53,24	50,01	47,87	73,66	42,23
82,70	62,73	26,21	35,30	46,51	10,27	77,57
47,90	50,31	26,77	15,08	0,13	36,19	41,01
77,81	45,67	70,29	82,95	94,15	82,83	125,22
49,45	41,35	17,99	2,14	13,62	27,41	44,69