



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Magdaléna Beťková

OPTIMALIZACE JÍZD SENIOR TAXI

Diplomová práce

2021



K617..... Ústav logistiky a managementu dopravy

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Magdaléna Beťková

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – LA – Logistika a řízení dopravních procesů

Název tématu (česky): **Optimalizace jízd Senior taxi**

Název tématu (anglicky): The optimization of routes of Senior taxi

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Seznámení s problematikou Senior taxi
- Fungování současných služeb Senior taxi ve vybraném městě
- Definice úlohy Dial-a-Ride ve vztahu k Senior taxi
- Metody řešení úlohy Dial-a-Ride
- Použití zvolené metody na konkrétních datech jízd Senior taxi
- Analýza výsledků a ekonomické zhodnocení



- Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucí diplomové práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: GOLDEN B., WASIL A., RAGHAVAN S., The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges, Springer, 2008, ISBN: 978-0-387-77777-1
TOTH P., VIGO D., Vehicle routing problems, Methods, and Applications: Second edition, 2014, ISBN: 978-1-61197-358-7

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

Datum zadání diplomové práce: **30. června 2020**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **17. května 2021**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

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



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

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Magdaléna Beťková
jméno a podpis studenta

V Praze dne 30. června 2020

Poděkování

Ráda bych poděkovala všem, kteří mi byli nápomocni při vytváření této diplomové práce. Mé poděkování zejména patří mé vedoucí práce paní Ing. Aleně Rybičkové, Ph.D. bez jejíž pomoci, rad a připomínek by tato diplomová práce nemohla vzniknout.

Mé díky patří paní Janě Procházkové, DiS. – vedoucí Oddělení ekonomického a rozvojových koncepcí Magistrátu města Pardubice, která mi poskytla data pro aplikaci metody optimalizace jízd Senior taxi.

Nesmím zapomenout poděkovat mé rodině a přátelům za podporu, rady a vytvoření ideálních podmínek pro psaní práce.

Prohlášení

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

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

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

V Praze dne 17.5.2021



podpis

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá vyhledáváním nejvhodnějších tras služby Senior taxi, která je určená pro přepravu seniorů a zdravotně znevýhodněných osob. Nejdříve je vysvětlena problematika strachu seniorů z řízení, služeb Senior taxi a úlohy Vehicle Routing Problem (VRP) a Dial-A-Ride (DARP). Na získaná data od Magistrátu města Pardubice je použita jedna z variant rozvozní úlohy VRP. Na základě této metody je zjištěno, kolik je potřeba okruhů pro obslužení všech zákazníků a v jakém pořadí budou zákazníci obsluženi. Na závěr jsou výsledné hodnoty vyhodnoceny a jsou navržena zlepšení celého procesu přepravy seniorů a zdravotně znevýhodněných osob.

Klíčová slova

Senior taxi, VRPTW, DARP, optimalizace, přeprava, senioři, zdravotně znevýhodněné osoby

Abstract

The thesis is focused on a finding the most suitable routes of Senior taxi service which is intended for transportation of seniors and handicapped people. Firstly, problems of elderly people's avoidance of driving, Senior taxi service and Vehicle Routing Problem (VRPT) and Dial-A-Ride Problem (DARP) are explained. One of the versions of distribution Vehicle Routing Problem is used on acquired data from Municipality in Pardubice. Based on this method it is found out how many routes are needed for servicing all customers and in what sequence customers will be serviced. In conclusion, results are evaluated and improvements of the whole process of transportation of seniors and handicapped people are suggested.

Key words

Senior taxi, VRPTW, DARP, optimization, transportation, seniors, handicapped people

Obsah

1. ÚVOD.....	6
2. PŘEPRAVA STARŠÍCH OSOB	8
2.1. POPIS SLUŽBY SENIOR TAXI	11
2.2. SENIOR TAXI V PRAZE	11
2.2.1. <i>HANDICAP-TRANSPORT s.r.o.</i>	12
2.2.2. <i>Societa o.p.s.</i>	13
2.2.3. <i>POHODA Transport s.r.o.</i>	15
2.2.4. <i>HEWER</i>	16
2.3. SENIOR TAXI V OSTATNÍCH MĚSTECH	18
2.3.1. <i>Senior express v Ostravě</i>	18
2.3.2. <i>Novodobá sanitka</i>	19
2.3.3. <i>Senior Taxi v Mladé Boleslavi</i>	20
2.3.4. <i>SENIORBUS v Brně</i>	22
3. OKRUŽNÍ A ROZVOZNÍ ÚLOHY	24
3.1. VEHICLE ROUTING PROBLEM (VRP).....	27
3.1.1. <i>Klasifikace úlohy VRP</i>	28
3.1.1.1. Kapacitně omezené VRP (CVRP).....	29
3.1.1.2. VRP s časovými okny (VRPTW)	29
3.1.1.3. VRP se zpětnou dopravou (VRPB)	30
3.1.1.4. VRP s vyzvednutím a dodáním (VRPPD)	30
3.1.2. <i>Heuristické a exaktní metody VRPTW</i>	31

3. 1. 2. 1.	Matematický model VRPTW	31
3. 1. 2. 2.	Heuristiky VRPTW	34
3. 2.	DIAL-A-RIDE PROBLEM (DARP)	35
3. 2. 1.	<i>Klasifikace úlohy Dial-A-Ride</i>	36
3. 2. 2.	<i>Heuristické a exaktní metody DARP</i>	38
3. 2. 2. 1.	Matematický model DARP	38
3. 2. 2. 2.	Heuristiky DARP	41
4.	APLIKACE METODY VRPTW	42
4. 1.	SENIOR TAXI V PARDUBICÍCH	42
4. 2.	METODIKA ZPRACOVÁNÍ DAT	44
4. 3.	ANALÝZA VÝSLEDKŮ	50
4. 4.	NÁVRHY ZLEPŠENÍ.....	58
5.	ZÁVĚR.....	62
	SEZNAM ZDROJŮ	65
	SEZNAM OBRÁZKŮ	68
	SEZNAM TABULEK.....	69

Seznam použitých zkratek

CVRP – Capacitated Vehicle Routing Problem – Kapacitně omezená úloha okružních jízd

ČR – Česká republika

DARP – Dial-A-Ride Problem

např. – například

OECD – Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj

příp. – případně

str. – strana

tj. – to je

tzn. – to znamená

tzv. – tak zvaně

VRP – Vehicle Routing Problem – Úloha okružních jízd

VRPB – Vehicle Routing Problem with Backhauls – Úloha okružních jízd se zpětnou dopravou

VRPPD – Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery – Úloha okružních jízd s vyzvednutím a dodáním

VRPTW – Vehicle Routing Problem with Time Windows – Úloha okružních jízd s časovými okny

1. Úvod

Senioři jsou nejrychleji rostoucím segmentem populace a v roce 2030 by měl být nárůst tak vysoký, že by každá 4 osoba měla být ve věku od 65 let a starší. Avšak s věkem přicházejí i problémy, kterými jsou tyto osoby ovlivňovány. S přicházejícími starostmi se stávají starší osoby heterogenní skupinou na základě zdravotního stavu potřeby cestovat a výběru módu dopravy. Tato diplomová práce se zabývá jedním z problémů, který seniory často postihuje, a to je obtížnost řízení vozidla.

Pokud se starší motoristé zcela nevzdali řízení, vyhýbají se řízení v různých stresových situacích. Stresovou situací pro seniory bývá řízení v noci, během dopravních špiček, v neznámých oblastech, v nevládném počasí, v místech s vysokou hustotou provozu nebo na dálnicích. Zároveň před tím, než řidiči přestanou řídit, snižují počet jízd a omezují své řízení pouze na lokální cesty ve známých oblastech a se snadnými řídicími podmínkami.

Bylo zjištěno, že ideálním vozidlem pro seniory je tzv. „Silver vehicle“. Toto vozidlo dosahuje rychlosti maximálně 30 km/h, je malé, snadno ovladatelné a vybaveno jízdními asistenty. Toto vozidlo by však mohli senioři používat pouze na krátké vzdálenosti a v oblastech s nízkou hustotou provozu. Alternativou přepravy na delší vzdálenosti pro starší osoby je zavádění tzv. „senior taxi“. Senior taxi je služba určená pro osoby starší 70 let a zdravotně znevýhodněné osoby s požadavkem přepravy z místa nástupu do místa vyložení. Jedná se tedy o taxi službu s upravenou nabídkou poskytování služeb i cenou přepravy, tak aby ji senioři a zdravotně znevýhodněné osoby mohli snadno využít. V České republice existuje několik poskytovatelů těchto služeb. Nabídky poskytovatelů se zejména od sebe liší velikostí vozidlového parku, použitým typem vozidel nebo rozlohou území jejich působnosti.

Předtím než je na získaná data od Magistrátu města Pardubice použita jedna z variant rozvozní úlohy, je vysvětlena problematika okružních a rozvozních úloh. Okružní úloha se zabývá rozvozem a svozem, u níž je cílem nalézt optimální minimální trasu kapacitně neomezeného vozidla. Na druhou stranu rozvozní úloha představuje rozšíření okružní úlohy, kde je vozidlo kapacitně omezené a úloha umožňuje vytvářet

více tras jednoho vozidla. Mezi rozvozní úlohy patří Vehicle Routing Problem (VRP), jehož varianta s časovými okny hledá na získaných datech optimální trasy vozidel.

Původním záměrem diplomové práce bylo použití metody Dial-A-Ride (DARP) na poskytnutá data od služby Senior express v Ostravě. DARP je detailnější rozšíření úlohy VRP s časovými okny umožňující přepravu více osob v jednom vozidle. Bohužel současná situace neumožňuje přepravu více osob, proto posléze byly hledány další možné alternativy metod zabývající se přepravou seniorů a hendikepovaných osob.

Nakonec byla data získána od Magistrátu statutárního města Pardubice provozujícího službu Senior TAXI. Tato pardubická služba i v době před pandemickou situací zajišťovala přepravu pouze jedné osoby v jednom vozidle, případně s doprovodem. V tomto případě mohla být zvolena metoda VRP s časovými okny (VRPTW) a její algoritmus upravený tak, aby vyzvednutí a vyložení dané osoby následovalo vždy přímo po sobě.

Už z původních dat získaných od Magistrátu města Pardubice, se dalo stanovit, že bude potřeba minimálně dvě vozidla k obslužení zákazníků během celého vybraného dne. Po aplikaci metody VRPTW byl možný z výsledných hodnot zjistit celkový počet vozidel nutných k obsluze všech klientů a zároveň pořadí v jakém budou klienti obsluhováni konkrétním vozidlem. Na základě výsledných hodnot poté byly stanoveny závěry a návrhy na zlepšení.

2. Přeprava starších osob

Podle Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (OECD) (2001, str. 17) jsou starší dospělí nejrychleji rostoucím segmentem populace a v roce 2030 lze očekávat, že každá čtvrtá osoba bude ve věku 65 let a starší.

„Dnešní starší lidé představují heterogenní skupinu na základě zdravotního stavu, potřeby cestovat a preference módu dopravy. Budoucí kohorta může v tomto ohledu prezentovat odlišný vzorek. Během příštích tří desetiletí mnoho starších osob může odložit svůj odchod do důchodu a pokračovat v zaměstnání, stát se aktivnějšími ve volném čase a být schopní řídit bez problémů. Jiní mohou mít zdravotní problémy, vyžadovat asistenci v každodenních aktivitách a mít málo peněz na volitelné výdaje.

Rozdíl mezi současnou a budoucí strukturou cestování starších lidí může vyplývat ze tří hlavních zdrojů: věkový efekt, který souvisí s procesem stárnutí; efekt kohorty, který souvisí se zkušenostmi každé generace; a efekt období, který představuje soubor vlivů běžných u všech generací v určitém čase“ (OECD, 2001).

OECD (2001, str. 29) ve své knize zmiňuje, že starší motoristé se často vyhýbají řízení ve stresových situacích. Studie vedené v mnoha zemích ukazují, že se starší řidiči typicky snaží vyhnout řízení v noci, během dopravních špiček, v neznámých oblastech a nevlídném počasí. Navíc se často vyhýbají řízení na dálnicích a vybírají si cesty, které nezahrnují odbočování v místech s vysokou hustotou dopravy. Ve Velké Británii zaznamenávají, že se starší řidiči vyhýbají řízení na cestách s kruhovými objezdy a okružními jednosměrnými systémy.

„Předtím než starší lidé přestanou řídit, snižují obvykle počet jízd, při nichž musí řídit a omezují své řízení pouze na lokální cesty ve známých oblastech a se snadnými podmínkami pro řízení. Čím lepší poskytnutí alternativ přepravních prostředků je, tím více je pravděpodobné, že je řidič začne používat pro cesty, u nichž by preferoval neřídit, dlouho předtím, než se vzdá řízení. To jim usnadní zůstat mobilní i potom co řídit přestanou.“ (OECD, 2001).

Kamata a Shino (2006, str. 52) provedli výzkum 41 starších obyvatel v Prefektuře Akita v Japonsku. Pro svůj výzkum si zvolili malé město se špatným přístupem k veřejné dopravě a rozdělili si ho na tři sekce: rozhovor o životní situaci, vyhodnocení fyzioterapeutem a test řídičských schopností za použití současných vozidel a osobních počítačů. Provedeným výzkumem bylo zjištěno průměrné klesání schopností způsobené stárnutím stejně jako další specifické charakteristiky. Na základě tohoto zjištění bylo definováno následujících sedm požadavků na prostředky umožňující pohyb starším osobám:

- pomalá rychlost, 20 až 30 km/h;
- jednoduchý nástup a výstup;
- jednoduché ovládání;
- malá velikost pro snadnou manipulaci;
- jízdní asistenti;
- jízda pro krátké vzdálenosti;
- bezpečné, pohodlné přepravní prostředí.

Tyto požadavky byly použity pro design nového typu vozidla nazvaného „Silver vehicle“. Po identifikování základních specifikací a diskusi jejich charakteristik a významu byl definován koncept ve formě mikro – elektrického vozidla. Jeden z prvních prototypů, které vznikly je možné vidět na Obrázku č. 1 (Kamata & Shino, 2006).



Obrázek 1 První prototyp mikro – elektrického vozidla

Zdroj: Kamata & Shino, 2006, str. 53

Z výše uvedeného vyplývá, že stárnutím lidé ztrácejí schopnost řídit, bojí se řídit ve stresových situacích a neznámých oblastech a vyhýbají se jízdě přes kruhové objezdy a okružní jednosměrné systémy. Zároveň ze zjištěných informací vyplývá, že ideálním vozidlem pro starší osoby je tzv. „Silver vehicle“, které dosahuje maximální rychlosti 30 km/h, je vybaveno jízdními asistenty, je malé, snadno manipulovatelné a ovladatelné. Toto vozidlo umožňuje starším osobám se pohybovat v blízkosti svého bydliště a za příznivého počasí. Pokud by se však tyto osoby potřebovaly dopravit k lékaři, na nákup nebo k rodině do vedlejšího města, které je od jejich bydliště několik kilometrů vzdálené, nemohli by „Silver vehicle“ použít.

Alternativou přepravy na větších územích je služba Senior taxi. Senior taxi je jedna z nejnovějších druhů přeprav, každý z poskytovatelů má odlišné zaměření a mají nejčastěji vymezené území k hranicím kraje. Někteří poskytovatelé jsou zaměřeni pouze na přepravu osob upoutaných na invalidním vozíku nebo pouze na přepravu seniorů nebo na přepravu obou kategorií osob. Podle toho, které osoby se přepravují, mají organizace přizpůsobený vozidlový park.

2. 1. Popis služby Senior taxi

Senior taxi je služba určená pro osoby starší 70 let a osoby se zdravotním postižením, které se potřebují dopravit na konkrétní místo. Většinou to bývají osoby, které nemají vlastní dopravní prostředek, nemohou dopravní prostředek ovládat nebo je pro ně obtížné využít služeb veřejné dopravy.

Instituce, které tyto služby nabízejí, provozují své služby na vymezeném území a v konkrétním časovém rozmezí. Přepravované osoby musí předložit platný občanský průkaz nebo průkaz ZTP nebo ZTP/P, pokud je přepravovaná osoba jejím držitelem. Pokud instituce využívají osobní vozidla, jako je například automobil typu Škoda Octavia, osoby s invalidním vozíkem musí mít doprovod. Doprovod musí být schopen pomoci přepravované osobě přesednout z vozíku do vozidla. Někteří poskytovatelé těchto služeb mají vyškolený personál pro doprovod a asistenci přepravovaných osob.

Služby Senior taxi provozují obvykle města nebo městské části. Objednání tohoto druhu přepravy je možné telefonicky nebo vyplněním internetového formuláře minimálně den před uskutečněním přepravy. Některé instituce umožňují objednat přepravu v den jejího uskutečnění. Služba se realizuje osobními vozidly nebo minibusy.

2. 2. Senior taxi v Praze

V hlavním městě České republiky je několik provozovatelů služeb pro přepravu seniorů a hendikepovaných osob. Většina městských úřadů v Praze neprovozuje vlastní přepravu seniorů, ale podává jim dostatek informací o organizacích poskytujících tyto služby. Každý z těchto poskytovatelů služeb se od sebe liší různými charakteristikami, nejčastěji to bývá cena za přepravu, velikost používaného vozidla nebo území, na kterém působí. V následujících podkapitolách jsou podrobně popsány nejznámější pražské organizace.

2. 2. 1. *HANDICAP-TRANSPORT s.r.o.*

Tato firma začala fungovat již v roce 2012 pod názvem POPELÁŘ s.r.o. se sídlem v Praze 8. Na svůj nynější název HANDICAP – TRANSPORT s.r.o. se přejmenovala až v roce 2020, kdy změnila i své sídlo na Prahu 4. HANDICAP – TRANSPORT s.r.o. zajišťuje dopravu pro klienty se sníženou schopností pohybu a orientace.

Firma využívá pro přepravu mikrobusey vybavené hydraulickými zdvižnými plošinami. Vozy jsou osmi až devítimístné s pohyblivými sedadly, díky nimž lze přepravovat více vozíčkářů najednou. K zajištění vozíčkáře proti nežádoucímu pohybu během jízdy jsou vozidla vybavena bezpečnostní upevňovací technikou. Vozidlo firmy HANDICAP – TRANSPORT s.r.o. je možné vidět na Obrázku č. 2.

HANDICAP – TRANSPORT s.r.o. zajišťuje přepravu v rámci Pražské integrované dopravy na území hlavního města Prahy a přilehlých obcí. Po domluvě s firmou je možné objednat přepravu i mimo Prahu a přilehlé obce. Objednání lze uskutečnit telefonicky, e-mailem nebo vyplněním formuláře na internetových stránkách firmy.

Klienti mohou využít služby firmy během pracovních dnů od pondělí do pátku v čase od 7:00 do 16:00. Cena za přepravu je 32,-Kč, pokud se jízda uskuteční pouze na území Prahy nebo pouze na území přilehlých obcí. Cena přepravy po obou územích je 40,- Kč a mimo vymezené území se účtuje 15,- Kč za kilometr. Doprovod platí stejnou částku jako přepravovaná osoba (HANDICAP-TRANSPORT s.r.o., 2021).



Obrázek 2 Vozidlo firmy HANDICAP – TRANSPORT s. r. o.

Zdroj: Vlastní fotografie

2. 2. 2. Societa o.p.s.

Societa vznikla 16. 4. 2008 jako obecně prospěšná společnost se sídlem v Praze 10. Tato společnost poskytuje přepravu pro držitele ZTP nebo ZTP/P v rámci Pražské integrované dopravy na území hlavního města Prahy a prvního tarifního pásma. Klientem může být pouze osoba s trvalým bydlištěm na tomto území. Objednat se klient může telefonicky, e-mailem nebo vyplněním formuláře na internetových stránkách Society.

Přepravu Societa uskutečňuje minibusy, které disponují elektrickými zdvižnými plošinami a bezpečnostní upevňovací technikou pro zajištění vozíčkářů ve vozidle. Je zde také možnost vypůjčení mechanického invalidního vozíku a autosedačky nebo podsedáku pro děti. Vozidlo společnosti Societa o.p.s. je možné vidět na Obrázku č. 3.

Societa se rovněž chlubí schopností zajistit fakultativní poznávací výlety a školy v přírodě jak v České republice, tak i v zahraničí. Podle požadavků klienta je schopná zorganizovat poznávací trasy, výlety pro děti a další volnočasové aktivity pro zdravotně znevýhodněné osoby.

Dispečink má nepřetržitou službu a klienti si mohou přepravu objednat v čase od 6:00 do 21:00. V případě, že se jedná o urgentní přepravu, je možné ji objednat i v čase od 21:00 do 6:00. Cena za přepravu po jednotlivých vyhrazených územích je 32,-Kč a cena za přepravu po obou vyhrazených územích je 40,- Kč. Doprovod platí stejnou částku jako přepravovaná osoba. Děti od 6 do 15 let mají levnější jízdné a děti do 6 let se přepravují zdarma.

Důležitou informací je fakt, že Societa prioritně obsazuje do svých volných pracovních pozic pracovníky se zdravotním hendikepem. Tyto osoby provozují dispečink, uskutečňují přepravu osob a provádí administrativní práce. Zdravotně znevýhodněné osoby, které nemohou najít práci, mají tak šanci se zapojit do profesního života (SOCIETA o.p.s., 2021).



Obrázek 3 Vozidlo společnosti Societa

Zdroj: Societa o.p.s., 2021

2. 2. 3. *POHODA Transport s.r.o.*

Tato společnost byla založena 14. 10. 2014 se sídlem v Hostivicích. Jejím hlavním posláním je bezpečná a pohodlná přeprava zdravotně znevýhodněných osob, seniorů, nemocných vyžadující přepravu v leže a maminek s dětmi. Klient má možnost si službu objednat telefonicky, e-mailem nebo vyplněním formuláře na internetových stránkách POHODA Transport s.r.o..

Osoby jsou přepravovány moderně vybavenými vozidly se speciálně upravenou vysouvací sedačkou nebo s automatickou zvedací plošinou. V případě potřeby klienta je k dispozici náhradní invalidní křeslo. Vozidla společnosti POHODA Transport s.r.o. je možné vidět na Obrázku č. 4.

POHODA Transport s.r.o. má ochotný a vyškolený personál, který kromě samotného transportu poskytuje všestranný doprovod a asistenci před i po přepravě. Zaměstnanci jsou schopni snést imobilního nebo ležícího klienta ze schodů bydlíště bez asistence druhé osoby a pomoci při přesedání z invalidního vozíku do automobilu a naopak. Personál zároveň zajišťuje doprovod do cílového místa, kde s klientem vyčká a pomůže mu dle potřeby.

Firma nabízí své služby pouze v Praze a Středočeském kraji během pracovních dnů od 7:00 do 17:00. Klient musí provést objednávku 3–4 dny před uskutečněním přepravy. Cena přepravy za jeden kilometr ve Středočeském kraji je 8,- Kč a cena přepravy v Praze je 16,- Kč. Počet ujetých kilometrů se počítá od pobočky v Hostivicích. Pokud má klient potvrzení od lékaře o vyúčtování náhrady cestovních nákladů soukromým vozidlem, klientovi může být podle zákona č. 48/1997 Sb. částečně hrazena přeprava zdravotní pojišťovnou (POHODA Transport, 2021).



Obrázek 4 Flotila vozidel firmy POHODA Transport s. r. o.

Zdroj: POHODA Transport, 2021

2. 2. 4. HEWER

HEWER vznikl v dubnu 1997 jako občanské sdružení pro sociální službu. Jeho hlavním záměrem byla pomoc seniorům a zdravotně znevýhodněným občanům v domácnosti. Po změnách zákona č. 108/2006 Sb., o sociálních službách a změně Občanského zákona, byl HEWER změněn na zapsaný spolek a zaregistrován jako služba vykonávající osobní asistenci.

Tento spolek dnes poskytuje tzv. asistence sebeurčující, u kterých klient sám určuje náplň služby na základě svých aktuálních potřeb. V případě, že má klient snížené mentální schopnosti, je poskytována tzv. řízená osobní asistence, kdy osobní asistent určuje zaměření služby.

HEWER jako doplňkovou službu poskytuje automobilovou přepravu s dopomocí pro seniory a zdravotně znevýhodněné osoby. Přepravu je možné zajistit pouze na území hlavního města Prahy od pondělí do pátku v časovém rozmezí od 6:30 do 16:30 hodin. Objednávku přepravy je nutné sjednat minimálně den před uskutečněním. Jízdu je možné objednat telefonicky nebo e-mailem. Cena přepravy se účtuje podle celkového počtu ujetých kilometrů. Cena jízdy je 10,- Kč/km. Čekací doba je do 10 minut zdarma a nad 10 minut je účtována sazba 3,- Kč/min.

Vozidla spolku jsou vybavena a speciálně upravena pro přepravu osob na invalidním vozíku. K dispozici je speciální hydraulická sedačka pro usnadnění nástupu a výstupu klienta z vozidla. Personál je vyškolený pomoci při nástupu a výstupu klienta z vozidla a je ochotný vyjít vstříc jeho potřebám. Ukázka vozidla sdružení HEWER je na Obrázku č. 5 (HEWER, 2021).



Obrázek 5 Vozidlo spolku HEWER

Zdroj: HEWER, 2021

2. 3. Senior taxi v ostatních městech

Nejen v hlavním městě ale i v několika dalších městech jsou poskytovány služby senior taxi. V následujících podkapitolách jsou přiblíženy služby fungující ve třech velkých městech – Ostrava, Mladá Boleslav a Brno. Dále je zde popsána firma Novodobá sanitka, která své služby poskytuje přes franchisové licence v několika městech po celé České republice. Všechny služby, kromě Novodobé sanitky, provozují magistráty měst a vozidla jsou poskytována místními taxislužbami. Novodobá sanitka je samostatně založená firma, která zajišťuje služby svými vlastními vozidly.

2. 3. 1. Senior express v Ostravě

Senior express je služba provozovaná Odborem sociálních věcí Úřadu městského obvodu Moravská Ostrava a Přívoz. Služba je určena pro seniory ve věku 70 let a více a osoby se zdravotním postižením, které se potřebují dopravit k lékaři, do zdravotnických zařízení, zařízení sociálních služeb, domů s pečovatelskou službou, na úřady a další instituce k zařazení osobních záležitostí nebo na ústřední hřbitov. Pokud má klient požadavek se dopravit na místo, které nespadá do této kategorie, avšak svou povahou je obdobný, rozhoduje o něm vedoucí odboru sociálních věcí.

Podat žádost o přepravu mohou osoby s trvalým pobytem v městském obvodu Moravská Ostrava a Přívoz. Cestující se vždy prokazují občanským průkazem nebo průkazem ZTP a ZTP/P. Osoby mohou být doprovázeny jinou osobou, která je zcela schopná poskytovat asistenci a pomoc při nástupu a výstupu přepravované osoby. Zvířata jsou vyloučena z přepravy.

Objednání služeb Senior expres je možné řešit pouze telefonicky v pracovních dnech od 8:00 do 11:30. Každý klient si může objednat maximálně tři jízdy za měsíc, přičemž jedna jízda představuje cestu tam i zpět bez ohledu na čekací dobu. K objednání dopravy je nutné sdělit důležité informace jako jsou jméno a příjmení přepravovaných osob, jejich datum narození nebo datum, přesný čas a místo nástupu. Osoby jsou přepravovány malými osobními vozidly, které je možné vidět na Obrázku č. 6.

Cena jízdy tam i zpět včetně čekací doby do 15 minut je 20,- Kč na území Moravské Ostravy a Přívozu a 40,- Kč mimo toto území. V případě, že je čekací doba delší než 15 minut jízda jedním směrem stojí 20,- Kč na vyhrazeném území a 40,- Kč mimo toto území. Za jízdu druhým směrem se opět účtují stejné částky podle území. Doprovod držitele průkazu ZTP a ZTP/P za jízdu neplatí (Ostrava!!! Moravská Ostrava a Přívoz, 2021).



Obrázek 6 Flotila vozidel služby Senior express v Ostravě

Zdroj: OSTRAVA!!! Moravská Ostrava a Přívoz, 2021

2. 3. 2. *Novodobá sanitka*

Novodobá sanitka byla založena 1. 11. 2011 a od té doby navazuje spolupráce s nemocnicemi, poliklinikami a jinými zdravotnickými zařízeními po celé České republice. Firma poskytuje přepravu pro nemocné, hendikepované osoby, seniory a maminky s dětmi, kteří se sami nemohou dopravit k lékařům, do nemocnic, lázní a zpět. Firma od roku 2013 začala udělovat franchisové licence, díky nimž se služby Novodobé sanitky začaly rozvíjet a rozrůstat po celé ČR.

Kromě samotného transportu zajišťuje firma všestranný doprovod a asistenci před i po přepravě a další servis podle přání klienta. Vozidla jsou vybavena náhradními invalidními vozíky a splňují bezpečnostní a hygienické podmínky. Personál je ochotný a vyškolený. V případě imobilního klienta žijícího v patře domu, je personál schopen ho snést ze schodů bez asistence druhé osoby. Ukázka vozidla, které firma používá je možné vidět na Obrázku č. 7.

Zaměstnanci Novodobé sanitky zajišťují doprovod a asistenci nejen při nástupu a výstupu z vozidla, ale i při činnostech v cílovém místě, např. vyzvednutí léků nebo pomoc s nákupem. Služba končí doprovodem klienta do bytu, přičemž se za tyto služby neplatí navíc žádný poplatek.

Firma vlastní několik poboček po celé České republice a ceny jízdného se u každé z poboček liší. Například u pobočky v Chomutově jsou ceny jízdného na území centra města a na území Jirkova za 75,- Kč. Za trasy Chomutov – sídliště Březenecká, Chomutov – sídliště Kamenná, Chomutov – sídliště Zahradní a Chomutov – sídliště Písečná zaplatí klienti 95,- Kč. V případě jízdy do okolních obcí a měst Chomutova mohou klienti zaplatit až 500,- Kč (Novodobá sanitka, 2021).



Obrázek 7 Vozidlo firmy Novodobá sanitka

Zdroj: Novodobá Sanitka – okres Domažlice, 2016

2. 3. 3. Senior Taxi v Mladé Boleslavi

Stejně jako Senior express v Ostravě je Senior Taxi v Mladé Boleslavi provozován Odborem sociálních věcí Magistrátu statutárního města Mladá Boleslav. Senior Taxi je určené pro osoby starší 65 let nebo vlastníci průkaz ZTP či ZTP/P s trvalým pobytem na území města Mladá Boleslav. Služba má vymezené cílové destinace, do kterých mohou být klienti přepravováni. Mezi tyto destinace patří např. budovy objektů vykonávající státní správu a samosprávu, zdravotnická zařízení a lékárny, pobočky České pošty, hřbitovy nebo domovy seniorů a domovy s pečovatelskou

službou. Zároveň je nutné říct, že se tyto destinace nacházejí pouze na území Statutárního města Mladá Boleslav a Kosmonos.

Službu mohou zákazníci využít jedině s platnou městskou kartou, která funguje i jako karta na autobus. Městská karta je oprávněným osobám vystavována bezplatně. Klienti si mohou službu objednat telefonicky ve všedních dnech od 6:00 do 18:00 hodin a službu mohou využít každý den v časovém rozmezí od 6:00 do 22:00 hodin. Přepravu je nutné rezervovat den před uskutečněním jízdy.

Zaměstnanci Senior Taxi nezajišťují doprovod, pomoc s nákupem nebo při nástupu a výstupu z vozidla (v případě přesezení z invalidního vozíku). Pokud přepravovaná osoba vyžaduje takovýto druh pomoci, musí mít s sebou doprovod, který je zcela schopen klientovi pomoci.

Služba Senior Taxi se uskutečňuje osobními vozidly poskytnutými dvěma místními taxislužbami. V jednom vozidle může být přepravena pouze jedna osoba, případně s doprovodem. Cena za jednu jízdu je 20,- Kč. Doprovod klienta má jízdu zdarma. Jednou jízdou se rozumí jedna cesta mezi nástupním a cílovým místem. Za zpáteční cestu se platí opět cena 20,- Kč. Vozidla vykonávající přepravu je možné vidět na Obrázku č. 8 (Statutární město Mladá Boleslav, 2021).



Obrázek 8 Vozidla služby Senior Taxi v Mladé Boleslavi

Zdroj: CHAROUSKOVÁ, Š., 2018

2. 3. 4. SENIORBUS v Brně

Ve městě Brně od roku 2016 funguje služba SENIORBUS, kterou provozuje Dopravní podnik města Brna. Tuto službu mohou využít osoby starší 70 let a vlastníci průkazu ZTP a ZTP/P, kteří jsou občany s trvalým bydlištěm na území města. Klient může tuto službu využít pro jakékoliv osobní záležitosti. Avšak nástupní i výstupní místo se musí nacházet pouze na území města Brna.

Službu je možné objednat telefonicky ve všedních dnech od 7:00 do 15:00 hodin. Požaduje-li klient přistavení vozidla s nájezdovou rampou pro invalidní vozík, musí tuto skutečnost uvést při objednávce přepravy. Zákazník si může objednat maximálně 6 jízd za měsíc, přičemž jednou jízdou se rozumí jedna cesta mezi nástupním a výstupním místem. Osoby mohou služby využít každý den od 6:00 do 22:00 hodin.

Zaměstnanci Senior Taxi zajišťují klientům asistenci při nástupu a výstupu, případně při naložení a vyložení zavazadel. Pokud klient vyžaduje další formu asistence, musí si zajistit doprovod, který je schopen požadavek asistence splnit.

Služba Senior Taxi je uskutečňována menšími i většími osobními vozidly. Větší osobní vozidla jsou vybavena nájezdní rampou pro invalidní vozík, takže klient upoutaný na vozíku z něho nemusí přesedat. Na Obrázku č. 9 je možné vidět jedno z vozidel, které vykonává přepravu pro službu SENIORBUS. Cena za jednu jízdu je 50,- Kč a doprovod klienta má jízdu zdarma. Jednou jízdou se rozumí jedna cesta mezi nástupním a výstupním místem (Dopravní podnik města Brna, 2021).



Obrázek 9 Vozidlo služby Senior Taxi v Brně

Zdroj: JELEN, T., 2016

3. Okružní a rozvozní úlohy

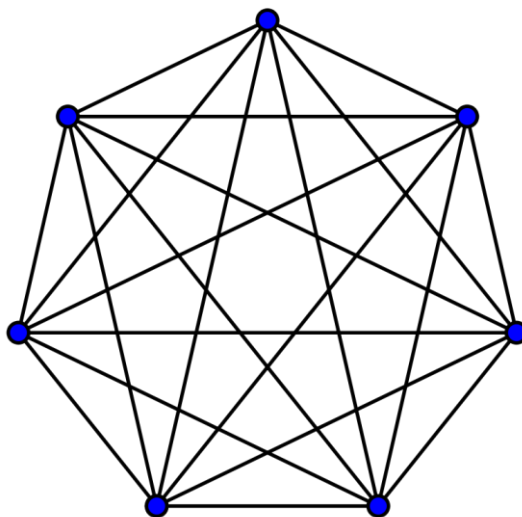
Okružní a rozvozní úlohy patří do skupiny úloh kombinatorické optimalizace, jež jsou vyjadřovány grafy složenými z určitého počtu vrcholů a hran. Každý vrchol v grafu představuje místo určení a hrana představuje spojení dvou konkrétních vrcholů. Graf může mít vždy odlišnou strukturu, proto existují různé typy grafů jako např. orientovaný, neorientovaný, acyklický, ohodnocený, neohodnocený atd.

Aby bylo snazší pochopit problematiku okružních a rozvozních úloh, je důležité vysvětlit pojem graf a jeho některé typy, které se v této problematice vyskytují. Graf je možné si představit jako zjednodušení reálného světa, který je znázorněn pomocí spojených bodů a čar. Body jsou označovány jako vrcholy grafu a hrany, které je spojují se nazývají hrany grafu. Vrcholy nebo hrany mohou být ohodnoceny reálnými čísly, které znázorňují např. vzdálenost nebo náklady. Pokud má graf ohodnocené vrcholy, je označován jako vrcholově ohodnocený graf, pokud má ohodnocené hrany, je nazýván jako hranově ohodnocený graf. Z matematického hlediska je graf G definován jako uspořádaná dvojice (V, X) , tj. $G = (V, X)$, kde V je množina vrcholů a X představuje množinu hran.

Významné je rozlišení grafů na neorientované a orientované, jejichž definice se od sebe odlišují v závislosti na typu hran. Neorientovaný graf je chápán jako uspořádaná dvojice $G = (V, E)$, kde V je konečná neprázdná množina vrcholů grafu a E je množina neorientovaných hran. Orientovaný graf je chápán jako uspořádaná dvojice $G = (V, A)$, kde V je množina vrcholů grafu a A jsou orientované hrany (Jirovský, 2021).

V teorii grafů existuje celá řada typů grafů. Mezi nejznámější typy grafů patří již zmíněný orientovaný a neorientovaný graf, dále pak obyčejný a prostý graf, multigraf a pseudograf. Tyto grafy se od sebe odlišují počtem vyskytujících se smyček a násobných hran. Např. prostý graf obsahuje pouze smyčky (hrany spojující vrchol sám se sebou) nebo pseudograf obsahující smyčky a násobné hrany (počet rovnoběžných hran mezi dvěma vrcholy).

Rovněž existují speciální typy grafů, mezi něž patří izolovaný vrchol, prázdný, triviální, diskrétní, úplný a pravidelný graf a kružnice. Každý speciální graf má jiné definice, např. úplný nebo také kompletní graf se vyznačuje tím, že mezi každou dvojicí jeho vrcholů existuje právě jedna hrana (ukázka úplného grafu je vyobrazena na Obrázku č. 10), nebo kružnice, která je neorientovaným grafem skládajícím se z jediné uzavřené posloupnosti propojených vrcholů.



Obrázek 10 Úplný graf

Zdroj: Wikipedie, 2021

Jedním z typických problémů teorie grafu je hledání nejkratší cesty. V takovémto případě vrcholy grafu představují města a hrany popisují cesty mezi nimi. Polohy měst a další informace jsou zanedbatelné. Zanedbatelnými informacemi jsou skutečnosti, zdali města leží vedle sebe a zdali jsou spojena alespoň jednou komunikací. Důležité je ohodnocení hran, které jako jediný algoritmus pro hledání nejkratší cesty využije (Jirovský, 2021).

Pojem „okružní úlohy“ je někdy spojován s průjezdem určitými místy nebo úseky. V praxi se zejména jedná o opravy, revize nebo odečty elektroměrů a plynůměrů. Nicméně u těchto případů nelze hovořit o rozvozních úlohách, protože obsluha tras není spojena s rozvozem a z důvodu požadavků zákazníků, kteří nepožadují přepravu zboží nebo osob, není potřeba stanovit kapacitu vozidla. Nejznámější okružní úlohou je Úloha obchodního cestujícího a její modifikace (Fábry, 2015).

Úloha obchodního cestujícího (Travelling Salesman Problem – TSP) je chápána jako matematicko-teoretická optimalizační úloha, která se řadí mezi tzv. NP-obtížné úlohy, v nichž nelze nalézt přesné řešení v polynomiálním čase. Úloha TSP může být vyjádřena jako neorientovaný graf, jehož vrcholy vyjadřují místa, která mají být navštívena, hrany představují silniční síť a ohodnocení hran reprezentuje náklady nebo vzdálenosti silniční sítě. Ekvivalentní definice této úlohy v teorii grafů je ohodnocený graf, který hledá nejnižší hodnotu Hamiltonovské kružnice.

Pojem „rozvozní úlohy“ je často autory překládán z anglického pojmu Vehicle Routing Problems. Avšak tento pojem je nepřesný, neboť se nezabývá pouze rozvozem materiálu, zboží a lidí, ale i jejich svozem. Některé úlohy připouští oba typy přepravy v rámci jedné trasy, příkladem je Úloha vyzvednutí a dodání (Pickup and Delivery Problem – PDP). V typickém případě je svoz či rozvoz rozvržen do několika tras, které mohou být realizovány paralelně (více vozidly) nebo sériově (jedním vozidlem) (Fábry, 2015).

Úloha okružních jízd (Vehicle Routing Problem – VRP) je rozšířením úlohy TSP, která umožňuje vytvářet více okruhů. Každý z okruhů je v základní variantě Kapacitně omezeného VRP (CVRP) omezen kapacitou vozidla a požadavky odběratelů. Cílem úlohy je obsloužit maximální počet odběratelů při respektování maximální kapacity vozidla. Celková délka tras nebo výše nákladů musí být minimální.

Jak bylo výše zmíněno, existuje zvláštní rozvozní problém, který umožňuje rozvoz i svoz v rámci jedné trasy. Úlohy umožňující oba typy přepravy se označují jako Úlohy s vyzvednutím a doručením, z anglického názvu „Pickup and Delivery Problem (PDP)“. Fábry (2015) popsal úlohy PDP následovně: *„Do skupiny úloh PDP lze zahrnout obrovské množství problémů, které mají jedno společné, a sice skutečnost, že požadavek je zadán místem vyzvednutí (pickup) a místem doručení zásilky (delivery) či vyložení osob (drop off).“* Specifikací místa vyzvednutí a doručení se právě úlohy PDP odlišují od okružních a rozvozních úloh, které mají vymezené pouze jedno výchozí místo.

Součástí matematických modelů okružních a rozvozních úloh jsou bivalentní proměnné x_{ij} . Pokud je x_{ij} rovna 1, pak hrana (i, j) se zahrne do daného okruhu, a pokud x_{ij} je rovna 0, hrana se do daného okruhu nezahrne. Potom účelová funkce sčítá ohodnocení hran zahrnutých do okruhu, tj. hran, pro které platí $x_{ij} = 1$. Protože je cílem úlohy nalézt nejkratší cestu grafem, účelová funkce je minimalizační.

3. 1. Vehicle Routing Problem (VRP)

Úloha okružních jízd (Vehicle Routing Problem – VRP) představuje skupinu úloh zabývajících se rozvozem, svozem i jejich kombinací v rámci jedné trasy. Cílem těchto úloh je obsloužit maximální počet zákazníků s minimální délkou okruhu nebo celkovými náklady. Jedná se o jednu z nejvíce studovaných kombinatorických optimalizačních úloh a představuje důležitého člena v oblasti logistiky i v mnoha dalších oborech.

„Vehicle Routing Problem (VRP) se zabývá plánováním optimálních tras, které využívá flotila vozidel k obsluze skupiny zákazníků. Od té doby, co byla tato úloha poprvé definována Dantzigem a Ramserem, vznikly stovky studií zabývajících se mnoha variantami této úlohy. Vznikla tak varianta kapacitně omezené úlohy VRP (CVRP), ve které jsou trasy obsluhovány homogenní flotilou vozidel a jediné omezení je kapacita vozidla; nebo úloha VRP s časovými okny (VRPTW), ve které jsou zákazníci obsluhováni v určeném časovém intervalu a časový plán tras vozidla musí být předem určený“ (Golden et al., 2008).

Úloha okružních jízd se obecně týká služeb provozovaných v určitém časovém intervalu, obsluhujících skupinu zákazníků určitým počtem vozidel, která jsou umístěna v jednom nebo více depech. Vozidla jsou řízena skupinou řidičů a pohybují se po odpovídající silniční síti. Konečné řešení úlohy VRP určí celkový počet tras každého vozidla začínajícího a končícího ve svém vlastním depu. Cílem úlohy je vytvořit takové trasy, které splní všechny požadavky zákazníků, nepřekročí provozní omezení a minimalizují přepravní náklady.

Silniční síť používaná pro uskutečnění přepravy je zpravidla popisována na grafu, jehož hrany představují úseky cest a vrcholy odpovídají křižovatkám, depům a požadavkům zákazníků. Hrany v grafu mohou být orientované nebo neorientované.

Orientované hrany umožňují vozidlům se pohybovat pouze jedním směrem (např. část trasy má zavedený jednosměrný provoz) a na neorientovaných hranách se vozidlo může pohybovat v obou směrech. Každé hraně jsou přidruženy náklady, které obecně reprezentují její délku a cestovní dobu, která závisí na typu vozidla nebo časovém období dne (např. jízda v období dopravní špičky).

Tato úloha se skládá ze čtyř hlavních komponent. První komponentou je síť, která je obecně popsána pomocí grafu. Síť je složená z uzlů představující místa, která mají být navštívena, a hran spojující uzly mezi sebou. Druhou komponentu představují požadavky zákazníků, které mají být splněny. Požadavky jsou v síti vyjádřeny jedním nebo více uzly v závislosti na potřebách konkrétního zákazníka. Celá síť tak vytváří model skutečné dopravní infrastruktury složené ze silnic spojující terminály (např. sklady, stanice, depa, přístavy). Třetí komponentou je flotila vozidel zajišťující mobilitu mezi uzly ke splnění všech požadavků zákazníků. Vozidla na síti ztělesňují poskytovatele služeb a mohou mít různé typy. Do těchto typů lze zahrnout nejen nákladní vozidla, letadla, lodě a vlaky, ale i kola, autobusy, helikoptéry, pěší, drony nebo robotická ramena. Poslední komponentou je jedno nebo více dep, v nichž flotila vozidel začíná a/nebo končí svou obsluhu (Labadie et al., 2016).

3. 1. 1. Klasifikace úlohy VRP

Když George Dantzig a John Ramser poprvé publikovali problematiku kapacitně omezené úlohy VRP (Capacitated Vehicle Routing Problem – CVRP), začaly je následovat stovky dalších studií rozšiřujících základní definici. Mezi nejznámější varianty patří VRP s časovými okny (Vehicle Routing Problem with Time Windows – VRPTW), VRP s více depy (Multiple Depot Vehicle Routing Problem – MDVRP), VRP s vyzvednutím a dodáním (Vehicle Routing Problem with Pick-up and Delivering – VRPPD) nebo VRP se zpětnou dopravou (Vehicle Routing Problem with Backhauls – VRPB).

3. 1. 1. 1. Kapacitně omezené VRP (CVRP)

Kapacitně omezené VRP (CVRP) je klasická varianta VRP, která se zejména používá v distribuci, logistice a dopravě. Všichni zákazníci nacházející se na síti odpovídají dodávkám a jejich požadavky jsou předem známy, nelze je měnit a nemohou být rozděleny do více dodávek. Vozidla ve flotile jsou identická a mají omezené kapacity. Existuje zde pouze jedno depo, ve kterém flotila začíná a končí svou obsluhu. Kritériem je minimalizace celkových nákladů k obslužení všech zákazníků. Celkové náklady jsou vyjádřeny počtem cest a jejich celkovou ujetou vzdáleností nebo cestovní dobou (Toth & Vigo, 2002).

3. 1. 1. 2. VRP s časovými okny (VRPTW)

VRP s časovými okny je rozšíření úlohy CVRP. Obsluha se opět vykonává kapacitně omezenými vozidly a požadavky zákazníků jsou předem známy. Navíc se v této úloze vyskytují tzv. časová okna, která představují časové intervaly mezi možným příjezdem k jednotlivým zákazníkům a jejich dobou obsluhy. Jedno časové okno je vždy přiřazeno jednomu zákazníkovi a obsahuje časový interval, v němž zákazník požaduje být obslužen.

Pro úlohy s časovými okny se rozlišují dva druhy časových oken – tvrdá a měkká. Pokud má úloha nastavená tvrdá časová okna, vozidlo musí přijet k zákazníkovi a splnit jeho požadavek v příslušném časovém okně. Pokud vozidlo přijede dříve do určitého místa, musí počkat, dokud časové okno nezačne. V opačném případě, kdy by byla překročena horní mez, se stává problém nepřijatelným. Měkká časová okna umožňují vozidlu přijet do určitého místa před začátkem nebo po konci časového okna, avšak za nesplnění časového okna vznikají vozidlu další náklady.

Cílem úlohy je minimalizovat nákladovou funkci, která může zahrnovat počet použitých vozidel, celkový čas potřebný k obsluze zákazníků v jejich požadovaných časových oknech nebo ujetou vzdálenost vozidla (Toth & Vigo, 2002).

3. 1. 1. 3. *VRP se zpětnou dopravou (VRPB)*

Toto další rozšíření úlohy CVRP rozděluje skupinu zákazníků do dvou podskupin. První podskupina zahrnuje zákazníky, kteří mají požadavek dodání určitého množství produktu. Druhá skupina zahrnuje zákazníky, kteří mají požadavek vyzvednutí a odvezení jejich určitého množství produktu. Přeprava produktů, které mají být dodány, se nesmí kombinovat s produkty, které mají být odvezeny.

Je zde definována přednost, kdy nejprve musí proběhnout rozvoz produktů k zákazníkům a poté svoz produktů od zákazníků. Zároveň je zde kapacitní omezení vozidla, které nesmí být při rozvozu i svozu překročeno. Kritériem VRPB je nalezení okruhů s minimální ujetou vzdáleností (Toth & Vigo, 2002).

3. 1. 1. 4. *VRP s vyzvednutím a dodáním (VRPPD)*

V základní verzi VRP s vyzvednutím a dodáním jsou definována místa vyzvednutí (pickup points) a místa doručení (delivery points). Mezi těmito místy jsou definovány požadavky na přepravu, které mají být splněny. Přepravováno může být zboží nebo lidé. Přeprava se uskutečňuje homogenní nebo heterogenní flotilou vozidel, jejíž vozidla nemusí začínat na stejném místě nebo ve stejném depu. V této úloze se jedná o klasický svoz a rozvoz materiálu, zboží nebo osob, kdy nejdříve dochází k vyzvednutí a poté vyložení při respektování kapacity vozidla.

Předpokládá se, že náklad vozidla musí být během celého okruhu kladný a nesmí překročit kapacitu vozidla, požadavek v místě vyzvednutí musí být obsloužen ve stejném okruhu a před jeho místem vyložení a zároveň i naopak místo vyložení musí být obslouženo ve stejném okruhu a následovat po místě vyzvednutí.

Kritériem úlohy je minimalizovat počet použitých vozidel a celkový čas potřebný k dodání a vyzvednutí zásilek zákazníků. Celý proces probíhá v předem daných časových oknech (Toth & Vigo, 2002).

3. 1. 2. Heuristické a exaktní metody VRPTW

Pro potřeby diplomové práce jsou v následujících podkapitolách vysvětleny exaktní a heuristické metody řešení pouze úlohy VRP s časovými okny. VRPTW je v kapitole č. 4 aplikována na získaná data. Důvodem výběru úlohy VRPTW jsou časová omezení, která jsou velmi důležitá pro plnění požadavků svozu a rozvozu zákazníků.

Heuristické a exaktní metody se od sebe liší výpočetní náročností, rychlostí výpočtu a kvalitou výsledného řešení. Heuristické metody jsou zejména využívány pro řešení větších výpočetních problémů, neboť výsledek řešení je rychleji zjistitelný a nejsou příliš výpočetně náročné na rozdíl od exaktních metod. Nevýhodou heuristik je však jejich nepřesný výsledek. Není zajištěno, že získané výsledky jsou optimální, ale mohou se k nim v rozumném čase přiblížit. Exaktní metody se využívají u menších výpočetních problémů, jejichž řešení nemá časovou náročnost a doba výpočtu není příliš velká. Výhodou těchto metod je nalezení optimálního řešení (Yang, 2014).

3. 1. 2. 1. Matematický model VRPTW

Matematický model úlohy VRPTW se stanovenými časovými okny a kapacitním omezením může být definován následovně:

Je dán orientovaný graf $G = (V, A)$, kde V je množina uzlů a A je množina hran. Depo je na grafu reprezentováno dvěma uzly 0 a $n + 1$, kde vozidla pohybující se na grafu G v uzlu 0 začínají a v uzlu $n + 1$ končí svou jízdu. Časové okno je také přidružené uzlům 0 a $n + 1$, tj. $[a_0, b_0] = [a_{n+1}, b_{n+1}] = [E, L]$, kde E a L reprezentují nejdříve možný odjezd z depa a nejpozději možný příjezd do depa. Proměnná a_i vyjadřuje nejdříve možný odjezd z uzlu i a proměnná b_i nejpozději možný příjezd do uzlu i . Potom symboly a_j a b_j vyjadřují nejdříve a nejpozději možný příjezd do uzlu j . Kromě toho jsou pro uzly 0 a $n + 1$ definovány i nulová poptávka a doba obsluhy, to je $d_0 = d_{n+1} = s_0 = s_{n+1} = 0$. Proměnná d_i definuje poptávku v uzlu i a s_i vyjadřuje dobu obsluhy v uzlu i . Přípustná řešení existují pouze pokud $a_0 = E \leq \min_{i \in V \setminus \{0\}} b_i - t_{0i}$ a $b_{n+1} = L \geq \min_{i \in V \setminus \{0\}} a_i + s_i + t_{i0}$, tedy pokud se odjezd z depa uskuteční dříve, než skončí časové okno v uzlu i s ohledem na dobu jízdy z depa do uzlu i a zároveň vozidlo musí splnit nejpozději možný příjezd do depa s ohledem na příjezd a dobu obsluhy v uzlu i a dobu jízdy mezi uzlem i a depem. Na hraně $(i, j) \in A$ se vždy

pohybuje vozidlo, které má svou určitou dobou přejezdu t_{ij} na hraně (i, j) . Je také nutné zmínit, že hrana $(i, j) \in A$ může být eliminována v důsledku časového uvážení pokud $a_i + s_i + t_{ij} > b_j$, tj. pokud by vozidlu trvala obsluha v uzlu i včetně cesty mezi uzlem i a j déle, než je povolený nejpozdější odjezd vozidla z uzlu j , nebo kapacitního omezení pokud $d_i + d_j > C$, tj. pokud by poptávka v uzlu i a j byla větší než maximální kapacita vozidla; nebo dalších faktorů. Nakonec je důležité zmínit, že když mají vozidla povoleno zůstat v depu, především v případě minimalizace celkového počtu použitých vozidel, musí být hrana $(0, n+1)$ s $c_{0,n+1} = t_{0,n+1} = 0$ přidána skupiny hran A .

V následujícím matematickém modelu jsou zahrnuty dva typy proměnných: proměnné toku $x_{ijk}, (i, j) \in A, k \in K$, je rovna 1 pokud hrana (i, j) je používána vozidlem k a jinak je rovna 0, a proměnné času $w_{ik}, i \in V, k \in K$, specifikovány začátkem obsluhy v uzlu i když je obsluhováno vozidlem k . Cordeau a další (2002) definovali matematický model následovně:

$$\min f(x) = \sum_{k \in K} \sum_{j(i,j) \in A} c_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

Za podmínek

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk} = 1 \quad (\forall i \in N), \quad (2)$$

$$\sum_{j \in \Delta^+(0)} x_{0jk} = 1 \quad (\forall k \in K), \quad (3)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(j)} x_{ijk} - \sum_{i \in \Delta^+(j)} x_{jik} = 0 \quad (\forall k \in K, j \in N), \quad (4)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(n+1)} x_{i,n+1,k} = 1 \quad (\forall k \in K), \quad (5)$$

$$x_{ijk}(w_{ik} + s_i + t_{ij} - w_{jk}) \leq 0 \quad (\forall k \in K, (i,j) \in A), \quad (6)$$

$$a_i \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk} \leq w_{ik} \leq b_i \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk} \quad (\forall k \in K, i \in N), \quad (7)$$

$$E \leq w_{ik} \leq L \quad (\forall k \in K, i \in \{0, n+1\}), \quad (8)$$

$$\sum_{i \in N} d_i \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk} \leq C \quad (\forall k \in K), \quad (9)$$

$$x_{ijk} \geq 0 \quad (\forall k \in K, (i,j) \in A), \quad (10)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad (\forall k \in K, (i,j) \in A), \quad (11)$$

Funkce (1) vyjadřuje minimalizaci optimalizačního kritéria, jež snižuje celkovou ujetou vzdálenost. Počet vrcholů v grafu musí odpovídat počtu zákazníků. V takovém případě vzorec (2) omezuje přiřazení každého zákazníka právě jednomu okruhu vozidla. Vzorce (3) až (5) určuje jízdu vozidla k na síti. (6) až (9) zaručují proveditelnost časového plánu s ohledem na časová a kapacitní omezení. Podmínky (10) a (11) vyjadřují definiční obor proměnné použité v modelu (Cordeau et al., 2002).

3. 1. 2. 2. Heuristiky VRPTW

První heuristikou pro řešení úlohy VRPTW je metoda časově orientovaného nejbližšího souseda. Jedná se o heuristiku spadající do skupiny sekvenčních, okružních algoritmů. Metoda je založená na opakovaném hledání neobslouženého nejbližšího zákazníka k depu. V každé následující iteraci je vyhledáván zákazník nejbližší k poslednímu zákazníkovi, který byl přidán do okruhu jízdy vozidla. V procesu vyhledávání jsou uvažováni na všichni zákazníci, kteří mohou být přidáni na konec okruhu. Při vyhledávání je brán ohled na časová okna, dobu příjezdu vozidla do depa a kapacitní omezení. Účelová funkce použitá v této heuristice se snaží při vyhledávání zohlednit vzdálenostní i časovou blízkost zákazníků. Účelová funkce zahrnuje přímou vzdálenost mezi dvěma zákazníky, časový rozdíl mezi ukončenou obsluhou v uzlu i a začátkem obsluhy v uzlu j , naléhavost splnění požadavku zákazníka j a časovou rezervu do posledního možného okamžiku začátku obsluhy vozidla.

Další metodou je heuristika vkládání, která se také řadí do skupiny sekvenčních, okružních algoritmů. Tato heuristika začíná každý okruh použitím jednoho z několika kritérií, např. výběrem nejvzdálenějšího zákazníka nezahrnutého do okruhu nebo zákazníka nezahrnutého do okruhu, který má nejdřívější termín obsluhy. Po zahájení okruhu používá metoda dvě kritéria a v každé iteraci vkládá nového zákazníka mezi dva sousedící zákazníky do zahájeného neúplného okruhu. Přidělování jednotlivých zákazníků se uskutečňuje na postupně se rozvíjejícím okruhu. Tato metoda se snaží maximalizovat užitek plynoucí z obsluhy zákazníka na budované dílčí trase. Jak je možné vidět, tento typ heuristiky představuje zobecnění metody časově orientovaného nejbližšího souseda. Nicméně metoda časově orientovaného nejbližšího souseda umožňuje přidávat zákazníky pouze na konec okruhu, ale heuristika vkládání připouští vkládat dosud nezařazené zákazníky do okruhu mezi dvojici již zahrnutých zákazníků. Ne vždy je vložení možné, musí splňovat geografická i časová kritéria (Solomon, 1984).

3. 2. Dial-A-Ride Problem (DARP)

Jean-François Cordeau a Gillbert Laporte (2002) definovali DARP jako úlohu, která se skládá z modelování cest a časových plánů vozidla pro obsluhu určitého počtu uživatelů, kteří specifikují místo nástupu a výstupu mezi výchozími a konečnými místy. Velmi často se stává, že jedna osoba má dva požadavky za den: požadavek odchodu z místa bydliště do cílové destinace (např. nemocnice), a požadavek příchodu představující cestu zpět.

„DARP představuje variantu úlohy VRP s časovými okny nástupu a výstupu (VRPPDTW), která se zabývá specifickými charakteristikami přepravy cestujících. Rozdíl mezi oběma problémy je, že DARP typicky obsahuje doplňková omezení nebo záměry, které vyjadřují pohodlí uživatele nebo úroveň služeb. Čekací doby jsou klíčové v přepravě osob, zatímco v nákladní přepravě mohou být do jisté míry zanedbané. Proto jsou zavedená časová okna v úloze DARP kratší než ta v úloze okružních jízd s vyzvednutím a dodáním a časovými okny (Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery and Time Windows – VRPPDTW) zabývající se přepravou zboží.“ (Hungerländer et al., 2021).

„Úloha DARP se nejčastěji aplikuje v neziskových Dial-A-Ride službách pro starší a zdravotně znevýhodněné osoby, které často mají nedostatečné množství finančních prostředků. Provozní omezení zahrnují jízdu a čekací dobu, nástupní/výstupní časová okna, kapacitu vozidla, a uspořádání vybavení ve vozidle. Některé Dial-A-Ride systémy mají heterogenní flotily vozidel. Ostatní systémy mohou umožnit přepravu z jednoho vozidla do druhého, např. u osob s mentálním postižením, které jsou schopné pohybu.“ (Ho et al., 2018).

Většina studií zabývající se úlohou DARP používá homogenní vozidla, která začínají v jednom depu. Zatímco toto tvrzení často odráží skutečnost a může tvořit základ pro návrh modelů a algoritmů, je důležité si uvědomit, že v praxi existují i různé situace. Služby mohou využívat více dep, která jsou rozmístěna v rozsáhlé geografické oblasti, a/nebo mohou využívat heterogenní flotilu vozidel. Některá vozidla jsou navržena tak, aby pouze přepravovala osoby na invalidních vozících, jiná umožňují přepravu pouze ležících osob nebo pouze mobilních osob, a některá vozidla mohou přepravovat dva nebo více typů pasažérů. Proto je v některých úlohách důležité

nejdříve stanovit velikost flotily vozidel a zjistit, zdali je možné uspokojit všechny poptávky.

Úloha Dial-A-Ride bere ohled na dva možné problémy: minimalizace nákladů a maximalizace obslužených požadavků. Úloha se snaží snižovat celkové náklady, které jsou potřebné k úplnému uspokojení poptávek a vedlejších omezení. Zároveň se snaží maximalizovat počet uspokojených poptávek v závislosti na dostupnosti vozidla a vedlejších omezení.

Ve službách fungujících v Dial-A-Ride systémech je důležitým ukazatelem kvalita služeb. Do kvality se zahrnují kritéria trvání a délky celé trasy, čekací doby zákazníků, doby jízdy zákazníka a rozdílu mezi aktuálním a žádaným časem vyložení. Některá z těchto kritérií mohou být zahrnuta do omezujících podmínek nebo být součástí objektivní funkce. V běžně používaných DARP modelech jsou zavedená předem stanovená časová okna od zákazníků. Časová okna definují jak čas odjezdu z místa nástupu, tak i čas příjezdu do místa vyložení. Takto nastavená časová okna omezují jízdu vozidla, obzvláště pokud nejsou časová okna dostatečně široká. Lze předpokládat, že uživatelé jsou schopni stanovit časové okno pro příjezd v místě vyložení a pro odjezd z místa vyzvednutí. Pro konkrétní vozidlo pak mohou být naplánovány časy odjezdů a příjezdů při splnění horní hranice doby jízdy (Cordeau & Laporte, 2002).

3. 2. 1. Klasifikace úlohy Dial-A-Ride

Dial-a-ride služby mohou být provozovány ve statickém nebo dynamickém módu. Ve statickém módu jsou všechny přepravní požadavky předem známy, zatímco v dynamickém módu se požadavky během dne mohou postupně měnit a trasy vozidla jsou upravovány ve skutečném čase pro uspokojení poptávky. V praxi se čistě dynamický DARP využívá jen zřídka, protože jsou požadavky často předem známy (Cordeau & Laporte, 2002).

Pokud poskytovatel služeb obdrží všechny důležité informace pro rozhodnutí předtím, než se uskuteční přeprava, jedná se o statický DARP. V tomto případě, i pokud se informace postupem času vyvíjí, se předpokládá, že poskytovatel vytvoří plán celé trasy pro předurčený počet uživatelů před zahájením poskytování služeb.

Na druhou stranu systém může být dynamický, pokud poskytovatel umožňuje odpovídat na nové informace během již probíhající přepravy. Například pokud poskytovatel připouští změnu existujících plánů jako reakci na nové poptávky uživatelů, obnovené informace týkající se existujících uživatelů, nebo neočekávané události jako je zpoždění a/nebo porucha vozidla.

Služby mohou být také provozovány v deterministickém nebo stochastickém módu, které se od sebe odlišují jistotou a dokonalostí získaných informací. Pokud poskytovatel služeb získá všechny informace a všechny jsou známy s určitostí, jedná se o deterministický mód. V případě, že klienti poskytnou neúplné informace a mohou měnit svá rozhodnutí, jde o stochastický mód.

Výše zmíněná rozdělení lze mezi sebou kombinovat, a to vede ke čtyřem základním kategoriím DARP:

1. statický – deterministický,
2. statický – stochastický,
3. dynamický – deterministický,
4. dynamický – stochastický.

ad 1. V případě statického – deterministického DARP má poskytovatel v čase 0 úplné informace týkající se všech současných a budoucích procesů. V čase 0 zná soubor potenciálních uživatelů a jejich přesné potřeby; ví, zdali se každý potenciální uživatel dostaví nebo ne; a má přesně vymezená trvání všech jednotlivých procesů, které by se mohly potenciálně v budoucnu konat.

ad 2. Systém je statický – stochastický, pokud o všem poskytovatel služeb musí rozhodnout v čase 0. Poskytovatel má v tomto čase neúplné informace o potřebách všech potenciálních uživatelů; neví, zdali se jednotlivý uživatelé dostaví nebo ne; a nemá přesně vymezené doby trvání jednotlivých procesů, které by se mohly v budoucnu konat. Na druhou stranu má poskytovatel k dispozici konečný počet uživatelů, který se nemění.

ad 3. Pokud v každém okamžiku od času 0 má poskytovatel služeb úplné informace týkající se současných a budoucích procesů a v případě nedostavení se uživatele nebo zrušení přepravy uživatelem je poskytovatel schopen změnit naplánované trasy, jedná se o dynamický – deterministický DARP. Zrušení přepravy je vždy náhlé, ale poskytovatel má dostatečné informace pro to, aby změnil plán tras bez zvýšení nákladů a vytvoření zpoždění.

ad 4. Dynamický – stochastický DARP je úloha, ve které má poskytovatel služeb neúplné informace a je schopen rychle reagovat na změny. V každém okamžiku od času 0 jsou poskytovány neúplné informace včetně konečného počtu uživatelů. Tato úloha umožňuje náhlé zrušení přepravy a poskytovatel dokáže změnit naplánované trasy. Avšak nová informace, podle níž je plán změněn, je také neúplná (Ho et al., 2018).

3. 2. 2. *Heuristické a exaktní metody DARP*

V této podkapitole jsou uvedeny heuristické a exaktní metody, které se používají k řešení problémů úlohy Dial-A-Ride. Protože v úloze DARP bývá velké množství uzlů, častěji se používají heuristické nebo metaheuristické metody, které sice nenajdou přesné optimální řešení, ale nejsou výpočetně a časově náročné.

3. 2. 2. 1. *Matematický model DARP*

Úloha Dial-A-Ride má několik variant, které byly postupem času vyvinuty různými autory. Základní matematický model, ze kterého autoři vycházejí, formulovali Cordeau a Laporte (2007). Model je definován následovně:

Je dán orientovaný graf $G = (V, A)$, kde V je množina uzlů a A je množina hran. Množina uzlů je rozdělena na $\{0, 2n + 1, P, D\}$, kde 0 a $2n + 1$ jsou dvě kopie depa, $P = \{1, \dots, n\}$ je množina uzlů, ve kterých jsou vyzvedávání klienti a $D = \{n + 1, \dots, 2n\}$ je množina uzlů, kde jsou klienti vyloženi. Požadavek představuje dvojice uzlů $(i, n + i)$, kde $i \in P$ a $n + i \in D$. Každému uzlu $v_i \in V$ je přiřazen náklad q_i , kdy platí $q_0 = q_{2n+1} = 0, q_i \geq 0$ pro $i = 1, \dots, n$ a $q_i = -q_{i-n}$ pro $i = n + 1, \dots, 2n$; a doba trvání služby $d_i \geq 0$, kdy platí $d_0 = d_{2n+1} = 0$. Množina hran je definována jako $A = \{(i, j) : i = 0, j \in P, \text{nebo } i, j \in P \cup D, i \neq j \text{ a } i \neq n + j, \text{nebo } i \in D, j = 2n + 1\}$.

Kapacita vozidla k je Q_k a maximální doba trvání trasy $k \in K$ je vyjádřena jako T_k . Při projetí hrany (i, j) vozidlem k vznikají náklady c_{ij}^k , a cestovní doba hrany (i, j) je vyjádřena jako t_{ij} . Maximální doba jízdy je definována jako L a časové okno uzlu i je $[e_i, l_i]$.

V modelu je použita tři indexová binární proměnná x_{ij}^k , která je rovna 1, pokud vozidlo $k \in K$ projíždí hranou (i, j) . Navíc je dán čas u_i^k , ve kterém vozidlo k začíná obsluhovat uzel i ; náklad w_i^k , které s vozidlem k opouští uzel i ; a doba jízdy r_i^k uživatele i . Poté výsledný model je:

$$\min f(x) = \sum_{k \in K} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij}^k x_{ij}^k \quad (12)$$

Za podmíněk

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in V} x_{ij}^k = 1 \quad (i \in P), \quad (13)$$

$$\sum_{i \in V} x_{0i}^k = \sum_{i \in V} x_{i,2n+1}^k = 1 \quad (k \in K), \quad (14)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ij}^k - \sum_{j \in V} x_{n+i,j}^k = 0 \quad (i \in P, k \in K), \quad (15)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ji}^k - \sum_{j \in V} x_{ij}^k = 0 \quad (i \in P \cup D, k \in K), \quad (16)$$

$$u_j^k \geq (u_i^k + d_i + t_{ij})x_{ij}^k \quad (i, j \in V, k \in K), \quad (17)$$

$$w_j^k \geq (w_i^k + g_j)x_{ij}^k \quad (i, j \in V, k \in K), \quad (18)$$

$$r_i^k \geq u_{n+i}^k - (u_i^k + i) \quad (i \in P, k \in K), \quad (19)$$

$$u_{2n+1}^k - u_0^k \leq T_k \quad (k \in K), \quad (20)$$

$$e_i \leq u_i^k \leq l_i \quad (i \in V, k \in K), \quad (21)$$

$$t_{i,n+i} \leq r_i^k \leq L \quad (i \in P, k \in K), \quad (22)$$

$$\max\{0, q_o\} \leq w_i^k \leq \min\{Q_k, Q_k + q_i\} \quad (i \in V, k \in K), \quad (23)$$

$$x_{ij}^k = 0 \text{ nebo } 1 \quad (i, j \in V, k \in K), \quad (24)$$

Funkce (12) reprezentuje minimalizaci optimalizačního kritéria, tedy minimalizace celkové ujeté vzdálenosti mezi depem a obsluhovanými vrcholy. Omezení (13) a (15) zaručují, že každý požadavek bude obslužen právě jedním a tím samým vozidlem. Podmínky (14) a (16) zajišťují, že každé vozidlo začíná a končí svou trasu v depu. Omezující podmínky (17) až (19) definují začátek doby obsluhy, náklad vozidla a dobu jízdy, zatímco omezení (20) až (23) zaručují jejich proveditelnost. Podmínka (24) vymezuje definiční obor proměnné použité v modelu (Cordeau & Laporte, 2007).

3. 2. 2. 2. Heuristiky DARP

Pro heuristické řešení úlohy Dial-A-Ride je možné využít časoprostorový algoritmus, který za pomoci minimálních cestovních dob a nejpozději možné doby vyzvednutí zákazníka zjišťuje výsledek. Časoprostorové rozdělení měří cestovní doby mezi dvěma místy, kde mají být vykonány požadavky; a rozdíl mezi nejpozdějšími dobami uskutečnění, kdy mohou být požadavky splněny.

Metoda vychází z časových matic a předem známých požadovaných dob dopravení zákazníka do cílového místa. Prvním krokem je přepočítání časových matic na časoprostorové matice. V dalším kroku začíná výpočet metody a hledání ideální trasy pro vyzvednutí a dopravení zákazníků podle jejich požadavků.

Výpočet začíná výběrem zákazníka s nejnižším nejpozdějším časem vyzvednutí. Podle časových matic je možné zjistit několik kandidátů, kteří jsou ověřeni v časoprostorových maticích. Požadavek s minimální hodnotou v časoprostorové matici je nakonec vybrán jako vhodný kandidát a přiřazen do okruhu.

Předchozí kroky se opakují, dokud nejsou splněny všechny požadavky, vozidlo není prázdné a je vytvořen konečný okruh vozidla (Sexton & Bodin, 1985).

4. Aplikace metody VRPTW

Následující podkapitoly popisují použití Úlohy okružních jízd s časovými okny (VRPTW) na konkrétních datech získaných od Magistrátu města Pardubice. Nejprve je představena nabídka služeb Senior TAXI v Pardubicích, která zajišťuje přepravu osob starších 70 let a zdravotně znevýhodněné osoby. Potom je popsána metodika zpracování dat a je na ně aplikována úloha VRPTW, jejíž výsledné hodnoty jsou zanalyzovány. Nakonec jsou navržena zlepšení a objasněn jejich záměr.

4. 1. Senior TAXI v Pardubicích

Na území statutárního města Pardubice je osobám starší 70 let a zdravotně znevýhodněným osobám k dispozici služba Senior TAXI, která těmto osobám s trvalým nebo přechodným bydlištěm na tomto území umožňuje se dopravit na místa pro vyřízení jejich osobních záležitostí. Senior TAXI má stanovená cílová místa, kam mohou být klienti dopraveni. Mezi tato místa např. patří lékařské ordinace, nemocnice, hřbitovy, pobočky České pošty, zámek Pardubice apod.

Službu Senior TAXI spravuje Magistrát města Pardubice a vozidla s řidiči poskytuje společnost Vi3. Pro službu Senior TAXI má Magistrát města Pardubice u společnosti Vi3 vyhrazená 3 osobní vozidla. Jedná se zejména o vozidla značky Škoda Octavia kombi označená nápisem Senior taxi Pardubice, které je možné vidět na Obrázku č. 11.

Klienti si službu mohou objednat telefonicky alespoň den před uskutečněním přepravy. Přepravu lze provést denně od 6:00 do 24:00 hodin. V případě návštěvy Nemocnice Pardubice se přeprava může uskutečnit i v časovém rozmezí od 24:00 do 6:00 hodin. Každý klient má stanovené maximálně 4 jízdy za měsíc, přičemž jedna jízda představuje cestu v jednom směru.

Protože je Senior TAXI určeno pouze pro osoby žijící na území Statutárního města Pardubice, musí si tyto osoby zařídit Senior TAXI průkaz, kterým se budou prokazovat při každém objednání služby a přepravě. Průkaz vydává Odbor sociálních věcí Magistrátu města Pardubice. Za vydání průkazu se neplatí žádný poplatek a může být vydán ihned.

Cena jízdy v jednom směru je 25,- Kč na celém území Statutárního města Pardubice. Přepravovaná osoba smí s sebou do vozidla vzít vodícího či asistenčního psa. Osoba může být doprovázena druhou osobou, která neplatí jízdné. Doprovod musí být schopen pomoci přepravované osobě při nasedání a vysedání z vozidla.

Senior TAXI mohou využít i zdravotně znevýhodněné osoby na invalidním vozíku za podmínek, že budou doprovázeny druhou osobou, která jim pomůže při přesedání. Pokud má osoba elektrický vozík, nemůže tuto službu využít (Senior TAXI, 2021).



Obrázek 11 Vozidlo společnosti Vi3 využívané pro služby Senior TAXI v Pardubicích

Zdroj: Pardubice, 2021

4. 2. Metodika zpracování dat

Z důvodu pandemie Covid 19 bylo obtížné získat data, která by mohla být použita v této diplomové práci. Nejdříve byla přislíbena data od služby Senior express v Ostravě, která je nakonec nedodala. Po oslovení několika firem, odpověděla paní Jana Procházková, DiS. – vedoucí Ekonomického oddělení a rozvojových koncepcí na Magistrátu města Pardubice. Po domluvě byl zaslán týdenní přehled jízd Senior TAXI v Pardubicích ve formátu PDF. Přehled jízd byl vepsaný do tabulky rozdělené do 6 sloupců. V jednotlivých sloupcích se nacházela data obsluhy, čas nástupu, informace, zda se jednalo o seniora nebo zdravotně znevýhodněnou osobu; a adresy nástupů a výstupů. Získaný přehled jízd od Magistrátu města Pardubice je možné vidět v Příloze 1.

Přehled jízd zahrnoval jízdy v týdnu od 1. do 9. dubna 2021. V tomto týdnu došlo k velkým výkyvům počtu požadavků, kdy od pátku 2. 4. do pondělí 5. 4. bylo celkem zaznamenáno 10 požadavků a ve čtvrtek 8. 4. bylo 53 požadavků (nejvíce vytížený den tohoto týdne). Pro další zpracování dat byl zvolen čtvrtek 1. 4., protože se jedná o první den v měsíci a zároveň počet požadavků v tomto dni odpovídal mediánu počtu požadavků za celý týden.

Každý klient měl požadavek vyzvednutí a vyložení na určitých adresách. Protože má Senior TAXI v Pardubicích nastaveno přepravovat pouze jednu osobu v jednom vozidle a zároveň z důvodu pandemie Covid 19 bylo nutné dodržovat opatření, každý zákazník musel být ihned po vyzvednutí dovezen do požadovaného místa. Každé adrese byly zjištěny GPS souřadnice, tedy přesná zeměpisná šířka a délka. Důvodem zápisu GPS souřadnic bylo přesné nastavení vzdáleností pro aplikování rozvozní úlohy.

V Tabulce č. 1 je možné vidět jednotlivé adresy a jejich GPS souřadnice. Adresy jsou seřazeny vzestupně podle časových oken požadavků, tzn. klient s požadavkem vyzvednutí v ulici Sokolovská a dovezením do ulice Dašická má dřívější začátek časového okna než klient s vyzvednutím v ulici Kapitána Nálepky a vyložení v nemocnici.

Tabulka 1 Adresy požadavků a jejich GPS souřadnice

Vyzvednutí			Vyložení		
Adresa	GPS – N	GPS – E	Adresa	GPS – N	GPS – E
Sokolovská	50.0204856	15.7558194	Dašická	50.0320797	15.8025817
Kapitána Nálepky	50.0207786	15.7601078	Nemocnice	50.0297089	15.7897453
Žel. Pluku	50.0252864	15.7730003	Poliklinika	50.0303231	15.7746400
Sezemická	50.0408097	15.7990839	Nemocnice	50.0297089	15.7897453
Lonkova	50.0445772	15.7614792	Poliklinika	50.0303231	15.7746400
Na Drážce	50.0377600	15.7980031	Nemocnice	50.0297089	15.7897453
Pod Lipami	50.0354564	15.8061183	Poliklinika	50.0303231	15.7746400
Poliklinika	50.0303231	15.7746400	Žel. Pluku	50.0252864	15.7730003
Bartoňova	50.0399531	15.8071642	Bokova	50.0279500	15.7913558
Boháčova	50.0300436	15.8132733	Poliklinika	50.0303231	15.7746400
Jana Palacha	50.0245786	15.7712572	Nemocnice	50.0297089	15.7897453
Bartoňova	50.0407356	15.8094783	Lékárna	50.0369950	15.7730828
Sluneční	50.0479772	15.7542906	Nemocnice	50.0297089	15.7897453
Nemocnice	50.0297089	15.7897453	Sezemická	50.0408097	15.7990839
Bartoňova	50.0402694	15.8090522	Poliklinika	50.0303231	15.7746400
Mladých	50.0493219	15.7643703	Nemocnice	50.0297089	15.7897453
Palackého	50.0340450	15.7623872	Nemocnice	50.0297089	15.7897453
Poliklinika	50.0303231	15.7746400	Pod Lipami	50.0354564	15.8061183
Gagarinova	50.0450781	15.7602061	Krajský úřad	50.0379906	15.7805242
Na Klínku	50.0264575	15.7326525	Nemocnice	50.0297089	15.7897453
Brožíkova	50.0425678	15.7512122	Úřad práce	50.0289842	15.7773875
Karla Šípka	50.0521686	15.7580394	Poliklinika	50.0303231	15.7746400
Gebauerova	50.0401153	15.7891203	Pod Břízkami	50.0195297	15.7769081
Boháčova	50.0298378	15.8144992	Nemocnice	50.0297089	15.7897453
Nemocnice	50.0297089	15.7897453	Mladých	50.0493219	15.7643703
Stavbařů	50.0500928	15.7603083	Husova	50.0414214	15.7867611
Jiránkova	50.0250017	15.7556694	Husova	50.0414214	15.7867611
Poliklinika	50.0303231	15.7746400	Bartoňova	50.0402694	15.8090522
Na Drážce	50.0390042	15.7999942	Nemocnice	50.0297089	15.7897453
Sedláčkova	50.0414139	15.7500019	Poliklinika	50.0303231	15.7746400
Poliklinika	50.0303231	15.7746400	Karla Šípka	50.0521686	15.7580394
Brigádníků	50.0388131	15.8004181	Nemocnice	50.0297089	15.7897453
Nemocnice	50.0297089	15.7897453	Na Klínku	50.0264575	15.7326525
Nemocnice	50.0297089	15.7897453	Sluneční	50.0479772	15.7542906
Poliklinika	50.0303231	15.7746400	Sedláčkova	50.0414139	15.7500019
Rumunská	50.0396983	15.8027622	Poliklinika	50.0303231	15.7746400
Dem. mládeže	50.0205594	15.7658981	Lékárna Grand	50.0378075	15.7768069
Nemocnice	50.0297089	15.7897453	Boháčova	50.0298378	15.8144992
Bartoňova	50.0402694	15.8090522	Poliklinika	50.0303231	15.7746400
Poliklinika	50.0303231	15.7746400	Bartoňova	50.0402694	15.8090522
Luční	50.0358050	15.8013811	hřbitov	50.0199006	15.7784056

Zdroj: Vlastní zpracování

Protože má Senior TAXI v Pardubicích stanovená místa, kam mohou být klienti přepravováni, v Tabulce č. 1 je možné vidět, že se některé adresy opakují. Aby data byla rychleji zpracována, byla v programu Microsoft Excel využita funkce „podmíněné formátování,“ která našla a označila shodující se názvy. GPS souřadnice shodujících se adres byly poté zkopírovány.

Přestože se jedná pouze o 41 požadavků, jednotlivá místa vyzvednutí a vyložení byla potřeba označit zvlášť. Proto byla v dalším kroku jednotlivá místa očíslována od 1 do 82 a pospojována do společných dvojic. Všechna místa vyzvednutí dostala čísla od 1 do 41 a všechna místa vyložení byla očíslována od 42 do 82. Vypsané jednotlivé společné dvojice je možné vidět v Tabulce č. 2

Tabulka 2 Dvojice míst vyzvednutí a vyložení a začátek a konec časových oken

Adresa		Časová okna	
vyzvednutí	vyložení	začátek	konec
1	42	30	60
2	43	75	105
3	44	70	100
4	45	80	110
5	46	105	135
6	47	105	135
7	48	100	130
8	49	95	125
9	50	135	165
10	51	130	160
11	52	135	165
12	53	140	170
13	54	180	210
14	55	185	215
15	56	195	225
16	57	210	240
17	58	210	240
18	59	210	240
19	60	220	250
20	61	235	265
21	62	255	285
22	63	225	255
23	64	255	295
24	65	295	315
25	66	290	320
26	67	280	310
27	68	310	340
28	69	285	315
29	70	345	375
30	71	345	375
31	72	345	375
32	73	375	405
33	74	390	420
34	75	440	470
35	76	435	465
36	77	465	495
37	78	480	510
38	79	495	525
39	80	555	585
40	81	590	620
41	82	610	640

Zdroj: Vlastní zpracování

V Tabulce č. 2 je také možné vidět začátek a konec časových oken. Časová okna označují časový interval, ve kterém chtějí být zákazníci přepraveni. Okno se skládá z nejdřívějšího možného příjezdu a nejpozdějšího konce přepravy v místě vyložení. Stanovení oken vychází z dat poskytnutých Magistrátem města Pardubice, kde byly zobrazeny přesné časy nástupu. Dále byla odhadnuta přibližná doba jízdy z místa nástupu do místa výstupu podle časů vycházejících z online mapy na portálu Mapy.cz (<https://mapy.cz/>). Časová okna jsou stanovená v minutách od začátku denního provozu Senior TAXI v Pardubicích, tedy od 6:00. To znamená, že první klient může být vyzvednut v místě 1 už v 6:30 hodin, ale maximálně musí být v místě 42 v 7:00 hodin.

V dalším kroku byl algoritmus heuristiky pro řešení úlohy VRP s časovými okny do programu v prostředí MATLAB, ve kterém byla použita zpracovaná data v programu Microsoft Excel. MATLAB je program, který kombinuje počítačové prostředí určené pro iterativní analýzu a navrhování procesů s programovacím jazykem, jehož datovou strukturou při výpočtech jsou matice. Zároveň zahrnuje editor pro vytváření skriptů, které kombinují kódy, výstupy a formátované texty ve spustitelném programovacím okně (MathWorks, 2021).

Aby vzdálenosti byly co nejpřesnější, byl do algoritmu zahrnut převodník GPS souřadnic na kilometry. Poté byl algoritmus vyplněn předpřipravenými hodnotami. GPS souřadnice byly rozděleny na zeměpisnou délku a šířku a vloženy zvlášť, přičemž byla zachována jejich posloupnost, aby tvořily společné dvojice. Dále byl vyplněn celkový počet vozidel. Senior TAXI v Pardubicích mají od společnosti Vi3 přislíbená trvale 3 vozidla, proto byl algoritmus nastaven na tento počet. Celkový počet míst, která mají být navštívena byla nastavena na číslo 82, neboť zahrnovala 41 míst vyzvednutí a 41 míst vyložení zákazníků.

Důležitou částí algoritmu bylo nastavení koeficientu přepočtu kilometrů na minuty a doby zastávky. Koeficient byl nastaven z přepočtu základního vzorce na výpočet rychlosti. Protože vozidla obsluhují zákazníky na území města, průměrná rychlost vozidla je 30 km/h. Jeden kilometr tedy vozidlo ujede za 0,033 hodiny. Celý algoritmus počítá hodnoty v minutách, a tak hodnota 0,033 hodin byla převedena na minuty, což odpovídá koeficientu převodu kilometrů na minuty rovné 2. Dalším bodem algoritmu byla doba zastávky. Dobou zastávky je chápána doba potřebná k nástupu

v místě vyzvednutí nebo v místě vyložení a také slouží jako časová rezerva v případě, že by na trase vozidla došlo ke kongescím dopravy nebo jiným mimořádným událostem.

Algoritmus heuristiky Úlohy okružních jízd s časovými okny (VRPTW)

Pro potřeby diplomové práce byl zvolen algoritmus heuristiky časově orientovaného nejbližšího souseda. Původní algoritmus předpokládá, že má každý zákazník pouze jedno požadované místo obsluhy. Protože služba Senior TAXI umožňuje přepravu pouze jedné osoby ve vozidle a tato osoba musí být po nástupu ihned dovezena na místo vyložení, mohla být v algoritmu každá jednotlivá zastávka nahrazena celou přepravou jednoho zákazníka, tj. zastávkou v místě nástupu, přejezdem a zastávkou v místě výstupu.

Algoritmus zařadí jako prvního zákazníka do nového okruhu toho, který má nejnižší konec časového okna a poté hledá nejbližšího zákazníka od posledního zařazeného zákazníka do okruhu při respektování doby přejezdu, doby zastávky a časových oken. Nejbližší zákazník je v tomto algoritmu myšlen zákazník, pro kterého vyšla minimální hodnota funkce (27). Pokud některé zákazníky nelze s ohledem na časová omezení zařadit, jsou zákazníci zahrnuti do okruhu dalšího vozidla.

Použitá metrika v tomto algoritmu zvažuje geografickou i časovou blízkost mezi zákazníky a vychází z následujících výrazů:

$$T_{ij} = b_j - (b_i + s_i), \quad (25)$$

$$v_{ij} = l_j - (b_i + s_i + t_{ij}), \quad (26)$$

$$\min c_{ij} = \delta_1 d_{ij} + \delta_2 T_{ij} + \delta_3 v_{ij}, \quad (27)$$

$$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = 1, \quad (28)$$

$$\delta_1 \geq 0, \delta_2 \geq 0, \delta_3 \geq 0. \quad (29)$$

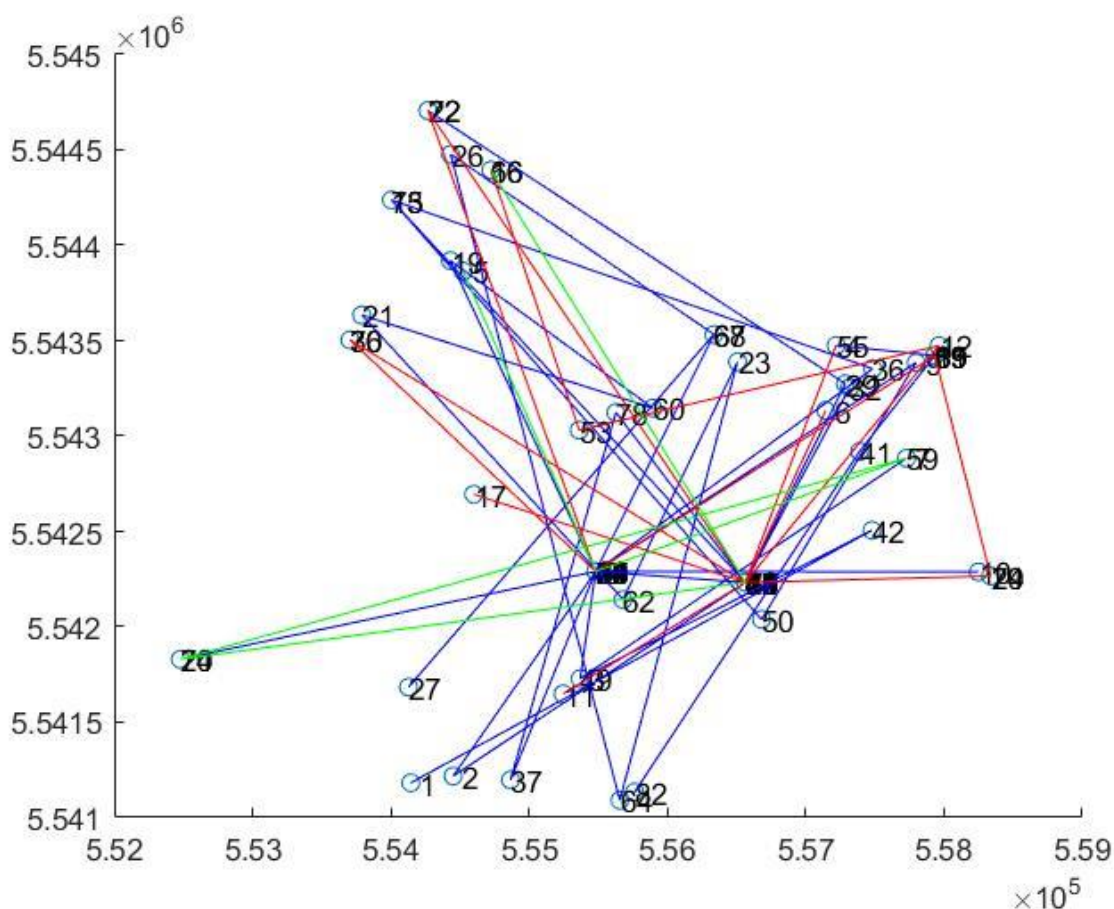
Vzorec (25) vyjadřuje rozdíl mezi začátkem obsluhy zákazníka j (b_j) a začátkem obsluhy zákazníka i (b_i) s dobou obsluhy zákazníka i (s_i), tj. čekací doba, která vzniká v případě, že vozidlo přijede k zákazníkovi j po splnění požadavku zákazníka i dřív, než zákazníkovi j začne časové okno. Pokud po příjezdu vozidla k zákazníkovi j časové okno již začalo, čekací doba je nulová. Na základě přidání hodnoty váhy ve výrazu (28) pro proměnnou T_{ij} se zajišťuje minimalizace čekacích dob. Proměnná (26) vyjadřuje rozdíl mezi nejpozdějším časem konce obsluhy, který zákazník j připouští (l_j) a začátkem obsluhy zákazníka i (b_i), dobou obsluhy (s_i) a dobou přejezdu mezi zákazníkem i a j (t_{ij}), tj. zbývající čas nejpozdějšího možného začátku obsluhy zákazníka j . Funkce (27) je minimalizační a vyhledává optimum s ohledem na geografické vzdálenosti mezi zákazníky (d_{ij}), naléhavostí splnění konkrétního požadavku (T_{ij}) a zbývajícím časem nejpozdějšího možného začátku obsluhy vozidla (v_{ij}). V účelové funkci (27) jsou zahrnuty i váhy splňující podmínky (28) a (29), které určují důležitost tří členů účelové funkce – d_{ij} , T_{ij} a v_{ij} .

V základní metodě nejbližšího souseda je nejbližší požadavek vyhledáván v rámci matice vzdáleností, která je zahrnutá do účelové funkce. Účelová funkce je minimalizační, tudíž vyhledává geograficky nejbližšího zákazníka (např. v úlohách TSP nebo VRP bez časových oken). V algoritmu použitém v této diplomové práci je jako nejbližší požadavek také vybírán požadavek s minimální hodnotou účelové funkce (27). Rozdílem je však obsah účelové funkce, která kombinuje geografickou vzdálenost, naléhavost splnění požadavku a časový rozsah. Algoritmus nejprve zjistí, zda jsou jednotliví zákazníci pro určitou trasu vozidla přípustní, následně z nich vyhledá zákazníka s minimální hodnotou a toho zařadí na konec okruhu příslušné trasy.

4. 3. Analýza výsledků

Po spuštění algoritmu Okružní úlohy s časovými okny (Vehicle Routing Problem with Time Windows – VRPTW) v programu MATLAB byly zjištěny výsledné trasy jednotlivých tří vozidel a jejich časový harmonogram. Trasy všech vozidel byly vytvořeny na základě splnění časových oken se zahrnutou dobou obsluhy. Vozidla byla rozdělena podle barev pro přehlednější spojitost mezi tabulkami a grafem.

Program vypsal pro jednotlivá vozidla jejich trasy a zobrazil je všechny na grafu, který je možné vidět na Obrázku č. 12.



Obrázek 12 Graf výsledných tras jednotlivých vozidel

Zdroj: Vlastní zpracování – program MATLAB

Tento graf je však nepřehledný a místa, jejichž GPS souřadnice se shodují, se překrývají a nejsou čitelná. Zároveň jsou hůře rozpoznatelné trasy jednotlivých vozidel. Proto bylo preferováno zpracování výsledných hodnot před grafickým zobrazením. Na druhou stranu je možné na grafu vidět přesné polohy míst vyzvednutí a vyložení podle skutečnosti. Výsledná data byla pomocí funkcí programu Microsoft Excel rozdělena a zpracována do tabulky, jejíž finální verzi je možné vidět v Tabulce č. 3.

Tabulka 3 Výsledné trasy a časová okna vozidel

Adresa						Časová okna	
Modré vozidlo		Červené vozidlo		Zelené vozidlo		začátek	konec
vyzvednutí	vyložení	vyzvednutí	vyložení	vyzvednutí	vyložení		
1	42					43	60
2	43					77	92
3	44					64	75
		4	45			97	110
				5	46	121	135
		6	47			111	123
7	48					111	125
8	49					95	106
9	50					145	158
10	51					127	142
		11	52			128	141
		12	53			147	162
13	54					169	185
14	55					191	204
15	56					208	223
		16	57			199	215
		17	58			218	232
				18	59	200	215
19	60					230	244
				20	61	222	240
21	62					245	260
		22	63			237	252
23	64					265	280
		24	65			296	309
				25	66	279	295
26	67					285	299
27	68					305	321
		28	69			275	290
29	70					354	367
		30	71			336	350
31	72					335	350
32	73					367	380
33	74					383	401
34	75					442	459
35	76					426	440
36	77					462	476
37	78					483	497
38	79					501	514
39	80					545	560
40	81					580	595
41	82					600	615

Zdroj: Vlastní zpracování

V Tabulce č. 3 je možné vidět, že nejvíce požadavků obslouží modré vozidlo (modré hrany na Obrázku č. 11). Během dne 1.4.2021 modré vozidlo celkem vyřídí 27 požadavků, červené vozidlo splní 10 požadavků a zelené pouze 4 požadavky.

Modré vozidlo svou jízdu započne v místě vyzvednutí 1 a pokračuje do místa vyložení 42, dále pak pokračuje do uzlů 2 a 43, poté do uzlů 3 a 44 atd. Ve sloupcích Časová okna je možné vidět jejich začátek a konec. Protože Senior TAXI v Pardubicích má provozní hodiny od 6:00, čísla označují počet minut uběhlých od začátku provozu. Modré vozidlo tedy začne jízdu příjezdem do místa vyzvednutí 1 v 6:43 hodin a toto časové okno končí v 7:00 hodin. Podle Tabulky č. 2 je možné říct, že modré vozidlo svou jízdu splnilo a že pravděpodobně přijede do místa vyložení dřív, než skončí časové okno. Vozidlo musí ale počkat na nejdřívější možný začátek časového okna dalšího zákazníka s ohledem na dobu přejezdu a dobu zastávky. Tato dedukce je způsobena porovnáním ostatních časových oken tohoto vozidla. Porovnání je možné s druhým požadavkem z místa 2 do místa 43, kdy vozidlo přijede v 7:17 hodin a skončí v 7:32 hodin. Zde vozidlo nemusí čekat do konce časového okna a může ihned splnit další požadavek. Modré vozidlo svou směnu skončí v 16:15 hodin.

Červené vozidlo začne svou jízdu v místě vyzvednutí 4 v 7:37 hodin a bude pokračovat do místa vyložení 45, kde mu skončí časové okno v 7:50. Dále pak pokračuje do místa 6 a 47, která splní v časovém okně od 7:51 do 8:03 hodin a pak pokračuje dále. Celou denní trasu červené vozidlo skončí v místě 71 ve 13:50 hodin. Zelené vozidlo začne svou jízdu v místě vyzvednutí 5 v 8:01 hodin a pokračuje do místa vyložení 46, kde skončí v 8:15 hodin atd. Zelené vozidlo skončí svou celodenní trasu v místě 66 v 10:55 hodin.

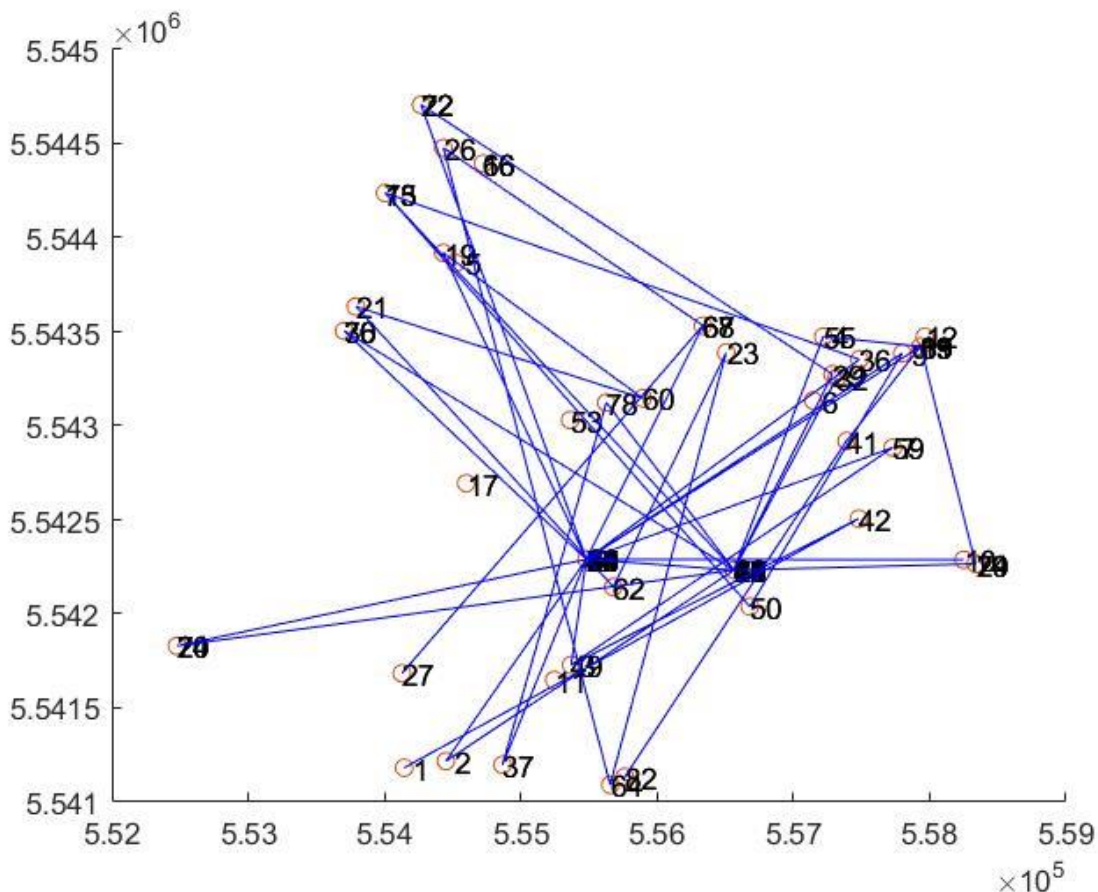
Výše popsané výsledné trasy jsou označeny čísly, pod nimiž se skrývají konkrétní adresy. Přesné adresy a jejich čísla je možné vidět v Tabulce č. 1. Pro snazší vyhledávání jsou trasy s přesnými adresami a časy přepsány do Tabulky č. 4.

Tabulka 4 Výsledné hodnoty s konkrétními adresami a časy

Adresa						Časová okna	
Modré vozidlo		Červené vozidlo		Zelené vozidlo		začátek	konec
vyzvednutí	vyložení	vyzvednutí	vyložení	vyzvednutí	vyložení		
Sokolovská	Dašická					6:43	7:00
Kap. Nálepky	Nemocnice					7:17	7:32
Žel. pluku	Poliklinika					7:04	7:15
		Sezemická	Nemocnice			7:37	7:50
				Lonkova	Poliklinika	8:01	8:15
		Na Drážce	Nemocnice			7:51	8:03
Pod Lipami	Poliklinika					7:51	8:05
Poliklinika	Žel. pluku					7:35	7:46
Bartoňova	Bokova					8:25	8:38
Boháčova	Poliklinika					8:07	8:22
		Jana Palacha	Nemocnice			8:08	8:21
		Bartoňova	Lékárna			8:27	8:42
Sluneční	Nemocnice					8:49	9:05
Nemocnice	Sezemická					9:11	9:24
Bartoňova	Poliklinika					9:28	9:43
		Mladých	Nemocnice			9:19	9:35
		Palackého	Nemocnice			9:38	9:52
				Poliklinika	Pod Lipami	9:20	9:35
Gagarinova	Krajský úřad					9:50	10:04
				Na Klínku	Nemocnice	9:42	10:00
Brožíkova	Úřad práce					10:05	10:20
		Karla Šípka	Poliklinika			9:57	10:12
Gebauerova	Pod Břízkami					10:25	10:40
		Boháčova	Nemocnice			10:56	11:09
				Nemocnice	Mladých	10:39	10:55
Stavbařů	Husova					10:45	10:59
Jiráňkova	Husova					11:05	11:21
		Poliklinika	Bartoňova			10:35	10:50
Na Drážce	Nemocnice					11:54	12:07
		Sedláčkova	Poliklinika			11:36	11:50
Poliklinika	Karla Šípka					11:35	11:50
Brigádníků	Nemocnice					12:07	12:20
Nemocnice	Na Klínku					12:23	12:41
Nemocnice	Sluneční					13:22	13:39
Poliklinika	Sedláčkova					13:06	13:20
Rumunská	Poliklinika					13:42	13:56
Dem. mládeže	Lékárna Grand					14:03	14:17
Nemocnice	Boháčova					14:21	14:34
Bartoňova	Poliklinika					15:05	15:20
Poliklinika	Bartoňova					15:40	15:55
Luční	hřbitov					16:00	16:15

Zdroj: Vlastní zpracování

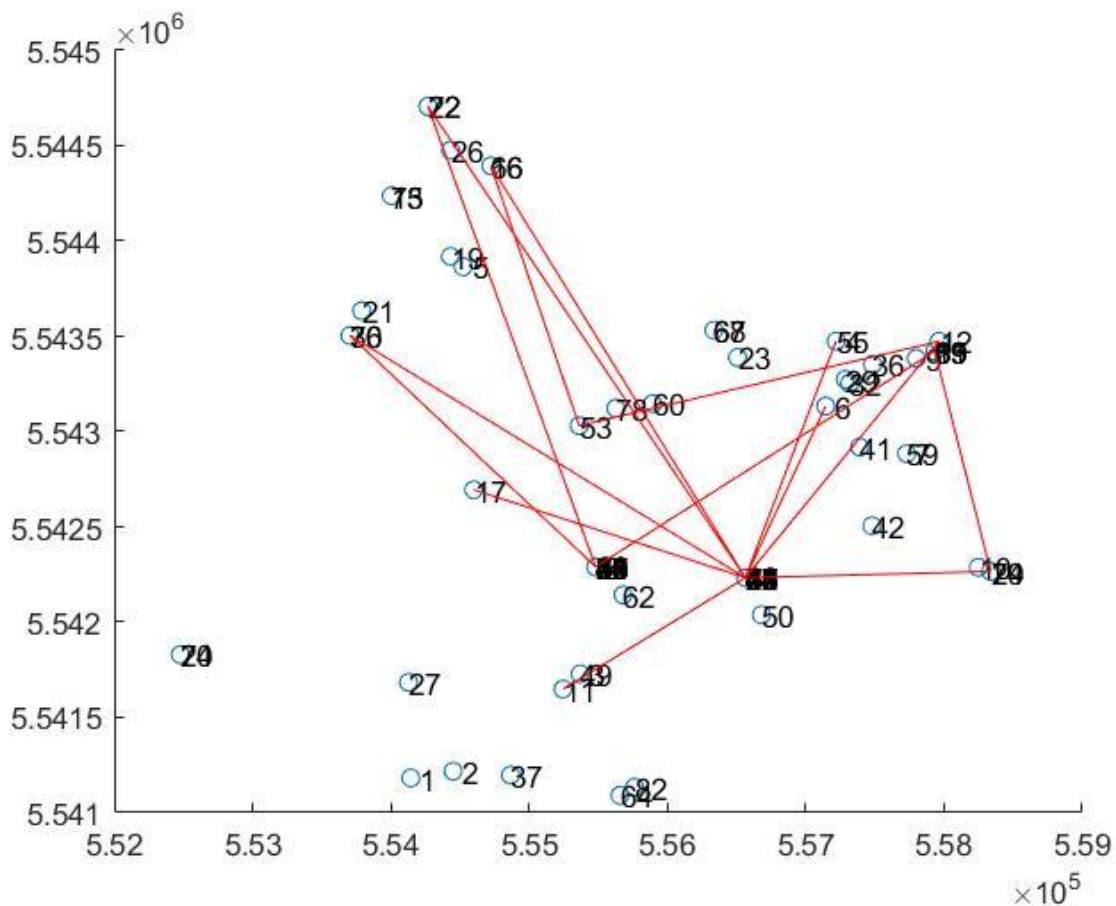
Z přehlednější Tabulky č. 4 je možné zjistit, že trasa modrého vozidla začíná v ulici Sokolovská a pokračuje do ulic Dašická, Kapitána Nálepky a do Nemocnice, dále pak do ulice Železničního pluku a do Polikliniky, do ulice Pod Lipami a zpět do Polikliniky, z Polikliniky zpátky do ulice Železničního pluku a odtud do ulice Bartoňova a Bokova. Dále vozidlo pokračuje do ulice Boháčova a do Polikliniky, poté do ulice Sluneční, do Nemocnice, do ulice Sezemická, Bartoňova a do Polikliniky. Pak pokračuje do ulice Gagarinova a na Krajský úřad, do ulice Brožíkova a na Úřad práce, do ulice Gebauerova, Pod Břízkami, Stavbařů, Husova, Jiránkova a zpět do ulice Husova. Potom do ulice Na Drážce, do Nemocnice a Polikliniky, do ulice Karla Šípka, Brigádníků a zpět do Nemocnice. Odtud do ulice Na Klínku a zpět do Nemocnice, z Nemocnice do ulice Sluneční, do Polikliniky, ulice Sedláčkova, Rumunská, zpět do Polikliniky, pak do ulice Demokratické mládeže a do Lékárny Grand, poté do Nemocnice, ulice Boháčova, Bartoňova, do Polikliniky a zpět. Nakonec do ulice Luční a na hřbitov. Trasa modrého vozidla je vyznačena na Obrázku č. 13.



Obrázek 13 Vyznačení trasy modrého vozidla na mapě

Zdroj: Vlastní zpracování – program MATLAB

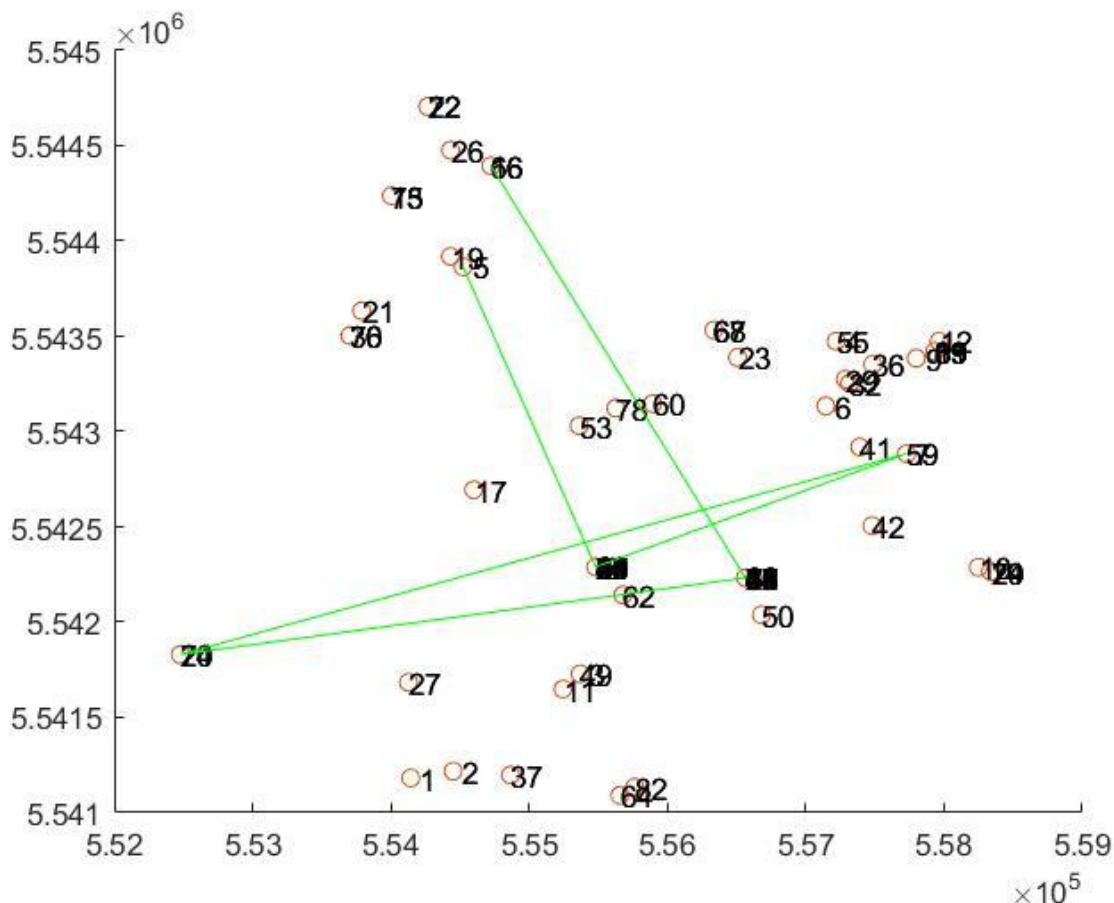
Červené vozidlo začíná v ulici Sezemická a pokračuje do Nemocnice, ulice Na Drážce, zpátky do Nemocnice, poté do ulice Jana Palacha a zpět. Z Nemocnice jede do ulice Bartoňova, do Lékárny a odtud svoz do Nemocnice z ulice Mladých a Palackého. Dále pak do ulice Karla Šípka, Polikliniky, ulice Boháčova a do Nemocnice. Nakonec do Polikliniky, ulice Bartoňova a Sedláčkova a zpět do Polikliniky. Celá trasa červeného vozidla je vyobrazena na Obrázku č. 14.



Obrázek 14 Vyznačení trasy červeného vozidla na mapě

Zdroj: Vlastní zpracování – program MATLAB

Zelené vozidlo začíná svou trasu v ulici Lonkova a pokračuje do Polikliniky, do ulice Pod Lipami, Na Klínku, do Nemocnice a končí v ulici Mladých. Jízdu zeleného vozidla je možné vidět na Obrázku č. 15.



Obrázek 15 Vyznačení trasy zeleného vozidla na mapě

Zdroj: Vlastní zpracování – program MATLAB

Jak je možné z výše uvedeného vidět, modré vozidlo je ze všech tří vozidel nejvíce vytížené a zbylá dvě ho pouze doplňují tam, kde mají požadavky stejná časová okna nebo je mezi jejich časovými okny malý časový rozdíl. V takovémto případě by se počet vozidel mohl snížit v případě předem nastavených časových oken, kdy by zákazníci mohli doplnit volná časová okna. Pokud by měl zůstat celkový počet vozidel, bylo by možné červené a zelené vozidlo doplnit dalšími požadavky, které by doplnily volná časová okna.

4. 4. Návrhy zlepšení

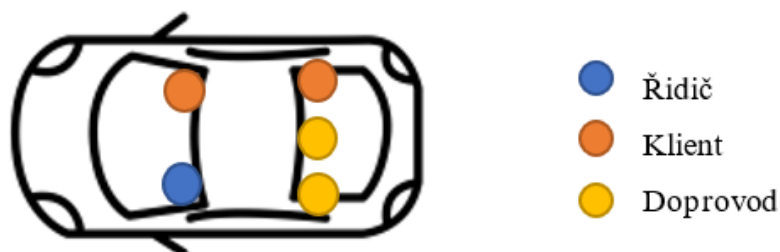
V této podkapitole jsou vymezeny návrhy na zlepšení provozu služby Senior TAXI v Pardubicích. Návrhy vznikly na základě výsledků získaných v podkapitole 4.3. Analýza výsledků.

Jak bylo zjištěno ve zmíněné podkapitole 4.3., nejvíce je využito jedno vozidlo a zbylá dvě jej doplňují. Proto prvním návrhem je snížení počtu vozidel. Snížení vozidel by se dalo dosáhnout, pouze v případě nastavených časových oken. Zákazníci by si při objednání služby museli vybrat z časů vyzvednutí, které by jim nabídla služba Senior TAXI. Služba by tak mohla využít pouze dvě vozidla, pro která by přesně nastavila plán jízd. Nevýhodou tohoto návrhu je chybějící flexibilita. Pokud by více klientů potřebovalo být vyzvednuto v určitém čase na jiných místech, byli by vyzvednuti ti, kteří by jako první uskutečnili objednávku. Další nevýhodou je omezený počet míst ve vozidle, kdy může být přepravována pouze jedna osoba. Tudíž v jeden časový okamžik při využití dvou vozidel mohou být přepraveni pouze dva klienti. Při zavedení tohoto návrhu do praxe mi by mohli zvýšit náklady, protože by se zde snížily náklady za třetí vozidlo a jeho řidiče a zvýšily by se výnosy získané z většího počtu klientů za den. Zvýšení výnosů ale není stoprocentní, neboť klienti budou preferovat flexibilní časy a raději začnou využívat jiných služeb.

Dalším návrhem je ponechání momentálního počtu vozidel a zavedení stanovených časových oken. Tento návrh je zcela stejný jako předchozí pouze s rozdílem počtu vozidel. Nevýhodou by zde byla opět chybějící flexibilita a možný přechod zákazníků na jiné služby. Náklady by v tomto návrhu byly vyšší, protože by zde přibyly náklady za třetí vozidlo a jeho řidiče, a zvýšení výnosů zde také není stoprocentní.

Jako třetím návrhem se nabízí vyplnění počtu míst ve vozidle. Protože služba Senior TAXI v Pardubicích využívá pětimístná vozidla včetně řidiče, mohli by být vždy přepraveni dva klienti a jejich doprovody. Ukázkou uspořádání ve vozidle je možné vidět na Obrázku č. 16. Výhodou by byla schopnost přepravit více osob najednou podle požadovaných časových oken a možné snížení počtu použitých vozidel. Zároveň by jedno vozidlo ujelo méně jízd během jednoho dne. Nevýhodou však je úložný prostor vozidla. Pokud by měli být přepraveni dva klienti upoutaní na invalidním vozíku, do některých malých osobních vozidel by se do jejich úložného prostoru mohl umístit pouze jeden vozík. Plánování jízd by tak muselo zkombinovat přepravu mobilních a imobilních klientů nebo by služba musela přejít na přepravu určenou pouze mobilním osobám. Další nevýhodou tohoto návrhu je jeho použití v pandemické době, kdy by tento návrh nebyl proveditelný z důvodu dodržování ochranných opatření.

Z hlediska optimalizačních úloh by výsledek byl přívětivý, nicméně ve skutečnosti by zde mohla nastat potíže se snížením kvality služeb. Klienti by mohli být nespokojeni s nedostatečným prostorem ve vozidle a střetávali by se s cizími lidmi na blízko. Snížená kvalita služeb by poté zapříčinila přechod klientů na jiné služby. Kvalita by se také mohla snížit kvůli prodloužení cestovní doby, kdy by klienti cestovali i na zastávky dalších klientů a museli by zde čekat při jejich nástupu a výstupu. Naopak by prodloužená cestovní doba mohla být kompenzována nižší cenou nebo nabídkou více měsíčních jízd za zvýhodněnou cenu. Pokud by se tento návrh použil, algoritmus by mohl být převeden do formy online nástroje, který by umožnil snadnější ověřování výhodnosti přidání nových požadavků do stávajícího rozvrhu vozidel.



Obrázek 16 Návrh uspořádání osob ve vozidle

Zdroj: Vlastní zpracování

Pokud by služba Senior TAXI uvažovala o zvýšení počtu míst ve vozidle při zachování kvality služeb, bylo by možné využít vozidla typu minivan nebo minibus. Tyto typy vozidel mají kapacitu 7 až 20 sedadel. Jestliže by byly použity minivany nebo minibusy k přepravě zákazníků, lze vytvořit dvě možné varianty přepravy osob.

První varianta zahrnuje pevně stanovené konečné zastávky, na které by byli klienti přepravováni. Objednaní klienti by byli vyzvednuti na svých požadovaných adresách a dovezeni na konečná místa. Trasy by se plánovaly podle vzdáleností, časových oken a kapacity vozidla. V případě, že by se více klientů požadující přepravu nacházelo ve stejné oblasti, vozidlo by je mohlo všechny najednou vyzvednout a poté odvést do požadovaných destinací. Výhodou by byla přeprava většího počtu osob, menší počet ujetých celkových cest a kratší cestovní vzdálenosti. Nevýhodou by bylo zvýšení nákladů za provoz minivanu nebo minibusu. Ukázku minibusu značky Fiat je možné vidět na Obrázku č. 17.



Obrázek 17 Minibus značky Fiat

Zdroj: Carismo, 2021

Druhá varianta využití minivanů nebo minibusů je pevné stanovení všech zastávek. Jednalo by se tedy o klasické služby veřejné hromadné dopravy. Rozdílem by byla nutná rezervace přepravy, při níž by musela osoba uvést název zastávky, na které chce být vyzvednuta. Řidič by tak měl přehled o přepravovaných osobách na konkrétních zastávkách a mohl by případně na zastávce počkat. Výhodou by bylo hromadné vyzvednutí osob, menší počet ujetých celkových cest a kratší cestovní vzdálenosti. Nevýhodou by byla chybějící flexibilita, kdy by se klienti museli dostavit na určené zastávky, a provozní náklady minivanu nebo minibusu.

5. Závěr

Starší osoby a osoby se zdravotním znevýhodněním jsou osoby, které jsou odkázané na pomoc druhých. Proto by se stále měly vyvíjet a zavádět nové technologie a opatření, která by těmto lidem usnadnila život. V dnešní době tyto osoby představují narůstající procento v populaci. Podle Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj se očekává stárnutí populace a již v roce 2030 bude každá čtvrtá osoba ve věku od 65 let.

Senioři zejména představují heterogenní skupinu z hlediska zdravotního stavu, potřeby cestovat a preference módu dopravy. Některé osoby mají závažné zdravotní problémy, které jim neumožňují vykonávat jejich požadované činnosti, a naopak jiné mají málo nebo žádné problémy; některé osoby dokážou řídit vozidlo nebo využít veřejnou dopravu a dopravit se tak sami na požadované místo a ostatní jsou odkázáni na ty, kteří jim pomohou nasednout, vysednout z vozidla a přepravit je na jejich požadované místo.

Diplomová práce se zaměřila na jeden z problémů, který postihuje starší generaci, a to řízení vozidel. Bylo zjištěno, že se senioři často vzdávají řízení nebo omezují svou jízdu na pouze známé místní prostředí. Senioři se totiž často vyhýbají řízení v různých stresových situacích, jako je např. řízení během dopravních špiček, v husté dopravě, na dálnicích, v noci apod. Ideálním vozidlem se tak nabízí tzv. Silver vehicle, které dosahuje maximální rychlosti 30 km/h, je vybaveno jízdními asistenty, jednoduše se ovládá a je bezpečné a pohodlné. Nicméně toto vozidlo je možné využít pouze na krátké vzdálenosti a místních komunikacích.

Poptávka po přepravě na delší vzdálenosti přinesla tzv. služby Senior taxi. Všechny firmy nabízející tyto služby se od sebe odlišují nabídkou svých služeb. Některé služby přepravují pouze mobilní osoby, jiné imobilní nebo ležící osoby a ostatní nabízejí přepravu obou typů osob. Podle toho, jaký typ osob firmy přepravují, mají uzpůsobený vozidlový park. Pokud firmy přepravují pouze mobilní osoby, využívají malá osobní vozidla. V případě, že přepravují imobilní osoby, je vozidlový park firmy složený z větších osobních vozidel typu minibus s nastavitelnými sedadly a výsuvnou nájezdovou rampou.

Služby Senior taxi nejsou poskytovány jen v zahraničí, jako například v Londýně služba London Dial-a-Ride, ale je možné je využít i v České republice. V hlavním městě Praha se nachází několik poskytovatelů těchto služeb, z nichž je nejznámější HANDICAP – TRANSPORT s. r. o. nebo Societa o. p. s., pak i dalších několik měst v ČR má své poskytovatele služeb, jako např. Senior express v Ostravě nebo SENIORBUS v Brně.

Typickými úlohami používanými v problematice přepravy starších a hendikepovaných osob jsou Úloha okružních jízd s časovými okny (VRPTW) a Dial-A-Ride úloha. Obě úlohy patří do skupiny rozvozních úloh, které hledají nejkratší trasy vozidla (příp. minimální celkové náklady) s cílem obsloužit maximální počet požadavků při respektování kapacitního omezení vozidla.

Úloha okružních jízd s časovými okny (VRPTW) je rozšířením základní Úlohy okružních jízd s kapacitním omezením (CVRP). Avšak kromě kapacitního omezení vozidla má VRPTW i časová omezení formou nastavených časových oken. Cílem úlohy je nalézt optimální trasy vozidla, které obslouží všechny požadavky ve stanovených časových oknech. Z této úlohy vycházejí další rozšíření, jež se používají ve službě Senior taxi. Rozšíření umožňují například přepravovat jednu nebo více osob v jednom vozidle. Jedním takovým rozšířením je úloha Dial-A-Ride, která se zejména používá ve službách přepravujících více osob ve vozidle. Jedná se tedy o kombinaci taxislužby s autobusovou dopravou, neboť přeprava se předem rezervuje a osoby jsou přepravovány minivany nebo minibusy.

Původním záměrem diplomové práce bylo použití úlohy Dial-A-Ride na data získaná od služby Senior express v Ostravě. Z důvodu současné situace byla nakonec data získána od služby Senior TAXI v Pardubicích a použita úloha VRPTW. Důvodem změny úlohy byla skutečnost, že pardubická služba zajišťovala přepravu v režimu „jeden zákazník v jednom vozidle“ i před začátkem pandemické situace a o změně režimu neuvažuje. Ideální úlohou se tak stala VRPTW, neboť se nejednalo o složitý systém a úloha Dial-A-Ride je výhodnější v systému umožňující přepravu více osob v jednom vozidle.

Služba Senior TAXI v Pardubicích je provozována Magistrátem statutárního města Pardubice a vozidlový park s řidiči je poskytován společností Vi3. Senior TAXI má u společnosti Vi3 vyhrazená 3 malá osobní vozidla, proto bylo při aplikování úlohy VRPTW počítáno s touto kapacitou. Služba má pevně stanovené destinace, do kterých mohou být klienti přepravováni, a přepravu uskutečňuje každý den v časovém rozmezí od 6:00 do 24:00 hodin. Pokud si klient objedná jednu jízdu, znamená to, že bude přepraven pouze mezi místem vyzvednutí a vyložení.

Data byla poslána od vedoucí Ekonomického oddělení a rozvojových koncepcí na Magistrátu města Pardubice paní Jany Procházkové, DiS. ve formátu PDF. Před aplikováním algoritmu pro řešení úlohy VRPTW, byla tato data přepsána a zpracována v programu Microsoft Excel a následně použita v prostředí MATLAB. Zpracovaná data byla vložena do programu úlohy VRPTW, která vyhledala trasy jednotlivých tří vozidel s ohledem na časová okna. Aby byl dodržen režim „jeden zákazník v jednom vozidle“, byla heuristika upravena na okamžité vyložení zákazníka po jeho vyzvednutí.

Výsledkem byly tři trasy tří vozidel, z nichž první vozidlo bylo nejvíce vytížené a zbylá vozidla ho doplňovala. Tyto výsledné hodnoty vedly k několika návrhům na zlepšení. Protože dvě vozidla doplňovala první vozidlo, bylo navrženo snížení vozidel a zavedení stanovených časových oken nebo ponechání stávajícího počtu vozidel a zavedení stanovených časových oken. Zákazníci by si museli zvolit z nabídky časů, kdy chtějí být přepraveni, a vozidla by byla vždy využita. Dalšími návrhy byla změna typu vozidel na minivany nebo minibusy, kdy by mohlo být více zákazníků přepraveno v jednom vozidle. Jednalo by se o klasické služby autobusové dopravy, jejichž přeprava by byla vždy předem rezervována a měla by stanovené konečné zastávky nebo nástupní i konečné zastávky. U každého z návrhů byly stanoveny jejich výhody i nevýhody.

Seznam zdrojů

Carismo, Katalog, *Fiat Ducato Minibus* [online]. 1.5.2021 [cit. 1.5.2021]. Dostupné z: <https://www.carismo.cz>

CORDEAU, Jean – François; LAPORTE, Gilbert. *The Dial-A-Ride Problem (DARP): Variants, modeling issues and algorithms* [online]. 2002, str. 90–101 [cit. 10.3.2021]. DOI: 10.1007/s10288-002-0009-8.

CORDEAU, Jean – François; LAPORTE, Gilbert. *The dial-a-ride problém: models and algorithms* [online]. 2007, str. 30–46 [cit. 10.3.2021]. Dostupné prostřednictvím Národní technické knihovny. DOI: 10.1007/s10479-007-0170-8.

DPMB – Dopravní podnik města Brna a.s., SENIORBUS – přepravní podmínky [online]. 1.5.2021 [cit. 1.5.2021]. Dostupné z: <https://dpmb.cz/>.

FÁBRY, Jan. *Řešení vybraných přepravních úloh*. Economics And Informatics [online]. 2015, roč. 13, str. 15 [cit. 10.3.2021]. Dostupné z: <http://ei.fhi.sk/index.php/EAI/article/view/12/12>.

GOLDEN, B., WASIL, A., RAGHAVAN, S., *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges*, Springer, 2008, [cit. 10.3.2021]. ISBN: 978-0-387-77777-1.

HANDICAP – TRANSPORT s. r. o. [online]. HANDICAP – TRANSPORT s. r. o., © 2020, 10.3.2021 [cit. 10.3.2021]. Dostupné z: <https://www.handicap-transport.cz/>.

HEWER, *Péče v domácím prostředí – osobní asistence* [online]. HEWER developed by Sherwood, © 2021, 13.3.2021 [cit. 13.3.2021]. Dostupné z: <https://www.hewer.cz/>.

HO, Sin C.; SZETO, W. Y.; KUO, Yong-Hong; LEUNG, Janny M. Y.; PETERING, Matthew; TOU, Terence W. H. *A survey of dial-a-ride problems: Literature review and recent developments*. Transportation Research Part B: Methodological [online]. 2018, roč. 111, str. 395–421 [cit. 10.3.2021]. Dostupné prostřednictvím Science Direct. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2018.02.001>.

HUNGERLÄNDER, Philipp; MAIER, Kerstin; PACHATZ, Veronika; TRUDEN, Christian. *Improving Sharing Rates of a Dial-a-Ride Problem implemented for an Austrian Mobility Provider* [online]. 2021, Transportation Research Procedia, Volume 52, str. 525–532 [cit. 11.3.2021]. ISSN: 2352-1465. Dostupné prostřednictvím Science Direct. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.01.062>.

CHAROUSKOVÁ, Šárka, Statutární město Mladá Boleslav, Oficiální stránky, Služba Senior Taxi už je v provozu, má první klienty [online]. 3.9.2018 [cit. 1.5.2021]. Dostupné z: <https://www.mb-net.cz/>.

JELEN, Tomáš, Český rozhlas, Brno, *Brněnští senioři mají vlastní taxi, cestují jím za 50 korun* [online]. 1.6.2016 [cit. 1.5.2021]. Dostupné z: <https://brno.rozhlas.cz>.

JIROVSKÝ, Lukáš, Teorie grafů [online]. 8.5.2021 [cit. 8.5.2021]. Dostupné z: <https://teorie-grafu.cz/>.

KAMATA, Minoru, SHINO, Motoki, *Mobility devices for the elderly: „Silver Vehicle“ Feasibility* [online]. IATSS Research, Volume 30, Issue 1, 2006, str. 52 – 59, [cit. 19.3.2021]. Dostupné prostřednictvím Science Direct. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0386-1112\(14\)60155-2](https://doi.org/10.1016/S0386-1112(14)60155-2).

MathWorks, Products, *MATLAB* [online]. 15.4.2021 [cit. 15.4.2021]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/>

Novodobá Sanitka – okres Domažlice, Fotky, *Úvodní fotky*. In: Facebook [online]. 27.4.2016 [cit. 15.4.2021]. Dostupné z: <https://www.facebook.com/novodobasanitkadomazlice/>.

NOVODOBÁ SANITKA, Přeprava nemocných [online]. © 2015, 11.3.2021 [cit. 11.3.2021]. Dostupné z: <http://www.novodobasanitka.cz/>.

OECD Publishing, Paris, 2001 [cit. 18.3.2021]. ISBN 92-64-19668-8. Dostupné prostřednictvím OECD iLibrary z: <https://www.oecd-ilibrary.org/>.

Pardubice, *Informační leták – Senior TAXI* [online]. 11.3.2021 [cit. 11.3.2021]. Dostupné z: <https://www.pardubice.eu/>

Pardubice, *Senior taxi v pardubických ulicích* [online]. 1.5.2021 [cit. 1.5.2021]. Dostupné z: <https://www.pardubice.eu/>.

POHODA Transport – Pomáháme žít bez bariér [online]. POHODA Transport, © 2021, 11.3.2021 [cit. 11.3.2021]. Dostupné z: <https://www.pohodatransport.cz/home.html>.

SENIOR EXPRESS, OSTRAVA!!! Moravská Ostrava a Přívoz [online]. Poslední změna: 1. 11. 2020 12:49, 10.3.2021 [cit. 10.3.2021]. Dostupné z: <https://moap.ostrava.cz/cs>.

SOCIETA o. p. s. – pomáháme si navzájem [online]. [cit. 10.3.2021]. Dostupné z: <https://www.societa.cz/>.

Statutární město Mladá Boleslav, Oficiální stránky, *Senior Taxi Mladá Boleslav* [online]. 1.5.2021 [cit. 1.5.2021]. Dostupné z: <https://www.mb-net.cz/>.

TOTH, P., VIGO D., *Vehicle routing problems, Methods, and Applications*: Second edition, 2014, [cit. 15.4.2021]. ISBN: 978-1-61197-358-7.

TOTH, Paolo; VIGO, Daniele. *An Overview of Vehicle Routing Problems*. The Vehicle Routing Problem. SIAM, 2002, [cit. 15.4.2021]. ISBN: 978-0-89871-498-2.

Wikipedie – Otevřená encyklopedie, *Úplný graf* [online]. 8.5.2021 [cit. 8.5.2021]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/>.

YANG, Xin-She. *Nature-Inspired Optimization Algorithms*. London: Elsevier, 2014, [cit. 1.5.2021]. ISBN 978-0-12-416743-8.

Seznam obrázků

Obrázek 1 První prototyp mikro – elektrického vozidla.....	10
Obrázek 2 Vozidlo firmy HANDICAP – TRANSPORT s. r. o.....	13
Obrázek 3 Vozidlo společnosti Societa	14
Obrázek 4 Flotila vozidel firmy POHODA Transport s. r. o.....	16
Obrázek 5 Vozidlo spolku HEWER	17
Obrázek 6 Flotila vozidel služby Senior express v Ostravě.....	19
Obrázek 7 Vozidlo firmy Novodobá sanitka.....	20
Obrázek 8 Vozidla služby Senior Taxi v Mladé Boleslavi	21
Obrázek 9 Vozidlo služby Senior Taxi v Brně.....	23
Obrázek 10 Úplný graf	25
Obrázek 11 Vozidlo společnosti Vi3 využívané pro služby Senior TAXI v Pardubicích	43
Obrázek 12 Graf výsledných tras jednotlivých vozidel	51
Obrázek 13 Vyznačení trasy modrého vozidla na mapě	56
Obrázek 14 Vyznačení trasy červeného vozidla na mapě.....	57
Obrázek 15 Vyznačení trasy zeleného vozidla na mapě.....	58
Obrázek 16 Návrh uspořádání osob ve vozidle.....	60
Obrázek 17 Minibus značky Fiat	61

Seznam tabulek

Tabulka 1 Adresy požadavků a jejich GPS souřadnice	45
Tabulka 2 Dvojice míst vyzvednutí a vyložení a začátek a konec časových oken	47
Tabulka 3 Výsledné trasy a časová okna vozidel	52
Tabulka 4 Výsledné hodnoty s konkrétními adresami a časy	54

Příloha 1

Senior taxi Pardubice	NASTUP	CÍL	přehled jízd
02.04.	08:28:22 senior: 08:30 Ludka Matury 812, Pce	Kostel X Hronovické a Sladkovského	
02.04.	06:25:48 senior: 06:30 Husitská 647, Pce	KRAJSKÝ ÚŘAD, Komenského nám. 125	
02.04.	03:29:29 senior: 03:20 NEMOCNICE, Kyjevská 44 - chirurgie	Družby 341, Pce	
02.04.	02:47:47 senior: 02:15 Družby 341, Pce	NEMOCNICE, Kyjevská 44	
01.04.	16:10:01 senior: 16:00 Lužní 10554, Pce	hřbitov	
01.04.	15:47:56 senior: 15:40 POLIKLINIKA VEKTOR, Rokycanova 2798	Bartoňova 826, Pce	
01.04.	14:54:24 senior: 15:00 Bartoňova 826, Pardubice	POLIKLINIKA VEKTOR, Rokycanova 2798	
01.04.	13:57:56 senior: 14:00 NEMOCNICE, Kyjevská 44, lékárna	Boháčova 745, Pce	
01.04.	13:43:24 senior: 13:45 Demokratické mládeže 1306, Pce	Lékárna Grand	
01.04.	13:27:01 senior: 13:30 Rumunská 340, Pce	POLIKLINIKA VEKTOR, Rokycanova 2798	
01.04.	12:58:34 senior: 13:00 POLIKLINIKA VEKTOR, Rokycanova 2798	Sedláčkova 447, Pce	
01.04.	12:52:08 senior: 13:00 NEMOCNICE, Kyjevská 44, Pce, hl.brána	Sluneční 300, Pce	
01.04.	12:22:58 senior: 12:15 NEMOCNICE, Kyjevská 44 - hlavní brána	Pa - Svitkov, Na Klínku	
01.04.	12:07:52 senior: 12:00 Brigádníků 366, Pce	NEMOCNICE, Kyjevská 44, lékárna	
01.04.	11:42:33 senior: 11:30 POLIKLINIKA VEKTOR, Rokycanova 2798	K. Šípka 279, Pce	
01.04.	11:24:12 senior: 11:30 Sedláčkova 447, Pce	POLIKLINIKA VEKTOR, Rokycanova 2798	
01.04.	11:23:55 senior: 11:30 Na Drážce 418	NEMOCNICE, Kyjevská 44	
01.04.	11:00:55 senior: 10:30 POLIKLINIKA VEKTOR, Rokycanova 2798	Bartoňova 826, Pce	
01.04.	10:58:22 senior: 11:00 Jiránkova 2103, Pardubice	Husova 775, Pardubice - Mudr. Rozinková	
01.04.	10:40:44 senior: 10:30 Stavbařů 149	husova 775, mudr. rozinková	
01.04.	10:35:13 senior: 10:30 NEMOCNICE, Kyjevská 44, hl. brána	Mladých 183, Pce	
01.04.	10:25:19 senior: 10:30 Boháčova 745, Pce	NEMOCNICE, Kyjevská 44, onkologie	
01.04.	09:55:42 senior: 10:00 Gebauerova 1425, pce	pod břízkami 990, krematorium	
01.04.	09:55:19 senior: 09:30 Karla Šípka 279, Pce	POLIKLINIKA VEKTOR, Rokycanova 2798	
01.04.	09:51:50 senior: 10:00 Brožikova 432, Pce	ÚŘAD PRÁCE, Boženy Víkové-Kunětické 2011	
01.04.	09:31:07 senior: 09:30 Na Klínku 623, Pce	NEMOCNICE, Kyjevská 44	
01.04.	09:29:17 senior: 09:30 Gagarinova 385, pce	KRAJSKÝ ÚŘAD, Komenského nám. 125	
01.04.	09:25:42 senior: 09:20 POLIKLINIKA VEKTOR, Rokycanova 2798	Pod Lipami 12, Pce	
01.04.	09:06:27 senior: 09:00 Palackého 2418, Pardubice	NEMOCNICE, Kyjevská 44	
01.04.	09:01:47 senior: 09:00 Mladých 183, Pardubice	NEMOCNICE, Kyjevská 44	
01.04.	08:57:37 senior: 09:00 Bartoňova 826, Pce	POLIKLINIKA VEKTOR, Rokycanova 2798	
01.04.	08:48:34 senior: 08:50 NEMOCNICE, Kyjevská 44, lékárna	Sezemická 1374, Pce	
01.04.	08:30:04 senior: 08:30 Sluneční 300, Pce	NEMOCNICE, Kyjevská 44, urologie	
01.04.	08:25:36 senior: 08:30 Bartoňova 831, Pce	BENU LÉKÁRNA, Sladkovského 96	
01.04.	07:56:52 senior: 08:00 Jana Palacha 1753, Pce	NEMOCNICE, Kyjevská 44, plicní	
01.04.	07:54:14 senior: 08:00 Boháčova 560, Pce	POLIKLINIKA VEKTOR, Rokycanova 2798	

Vi3 Pardubice

GPSdispecink.cz - on-line řešení pro řízení TAXI