

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

EKONOMICKÁ FAKULTA
HORNICKO-GEOLOGICKÁ FAKULTA

METODIKA

Zpracování nehomogenních vstupních dat s využitím GIS

Autoři:

Ing. Mgr. Petr KOZEL, Ph.D.

Ing. Lucie ORLÍKOVÁ, Ph.D.

Oponenti:

Ing. Michal TUREK, Ph.D.

Bc. Ivan MACEK

RETIA

Katedra matematických metod v ekonomice

Dedikace

Metodika je výstupem projektu TH02010930 „Efektivní přístupy k úsporným a adaptabilním systémům údržby a obsluhy dopravních sítí“. Tento projekt byl řešen Vysokou školou báňskou – Technickou univerzitou Ostrava, v rámci Programu na podporu aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje Technologické agentury ČR, EP-SILON.

Metodika byla certifikována Ministerstvem dopravy ČR dne xx. xx. 2020 na základě osvědčení č. j. XXXX.

Obsah

Dedikace	iii
Předmluva	1
1 Úvod	3
1.1 Rešerše	3
1.2 Motivace k tvorbě metodiky	5
2 Vymezení základních pojmů	9
2.1 Reálná dopravní síť	9
2.1.1 Atributy uzlů	9
2.1.2 Atributy úseků	10
2.2 Náhradní dopravní síť	12
2.3 Cestování v grafech	13
2.3.1 Matice ohodnocení hran a matice vzdáleností	15
2.4 Geografické informační systémy	16
2.4.1 Geometrické vlastnosti geoprisku	16
2.4.2 Popisné vlastnosti geoprisku	17
2.4.3 Analýza nad daty	17
2.4.4 Softwarové nástroje	18
3 Kategorizace úloh	19
3.1 Obsluha vrcholu grafu	19
3.1.1 Formulace úlohy typu depo – depo	20
3.1.2 Formulace úlohy typu depo – skládka	20
3.1.3 Požadovaný formát vstupních dat	20
3.2 Obsluha hrany grafu	21
3.2.1 Formulace úlohy o obsluze izolované množiny hran	21
3.2.2 Formulace úlohy o obsluze vybrané podmnožiny hran	22
3.2.3 Požadovaný formát vstupních dat	23
4 Vstupní data	25
4.1 Disponibilní data	25
4.2 Podkladová data – lokalizace uzlů	26
4.3 Podkladová data – dopravní infrastruktura	26
4.3.1 StreetNet	27
4.3.2 OpenStreetMap	28
4.3.3 Porovnání podkladových dat	28
4.3.4 Úprava podkladových dat OSM	28

5	Příprava vstupních dat s využitím GIS	31
5.1	Příprava dat pro optimalizaci – obsluha vrcholu	31
5.1.1	Tvorba vektorové bodové vrstvy	32
5.1.2	Transformace mezi souřadnicovými systémy	33
5.1.3	Výpočet matice vzdáleností	35
5.2	Příprava dat pro optimalizaci – obsluha izolované množiny hran . . .	37
5.2.1	Tvorba izolované dopravní sítě	37
5.2.2	Tvorba náhradní dopravní sítě	38
5.2.3	Výpočet matice ohodnocení hran	38
5.3	Příprava dat pro optimalizaci – obsluha vybrané podmnožiny hran . .	42
5.3.1	Tvorba vybrané dopravní sítě	42
5.3.2	Tvorba náhradní dopravní sítě	42
5.3.3	Tvorba širší dopravní sítě	42
5.3.4	Výpočet matice ohodnocení hran	42
6	Závěr	49
	Literatura	50

Seznam obrázků

2.1	Schematické znázornění reálné dopravní sítě.	10
2.2	Detailní popis úseků reálné dopravní sítě.	12
2.3	Spojnice zákazníků A a D za předpokladu obsluhy vrcholu.	13
2.4	Spojnice zákazníků A a D za předpokladu obsluhy hrany.	13
2.5	Migraf $G = (V, H, c, d)$	14
3.1	Spojnice vrcholů A a g za předpokladu obsluhy hrany.	21
3.2	Diagram migrafu G.	22
3.3	Diagram migrafu G s vyznačením podgrafů G_1 a G_2	22
4.1	Příklad atributové tabulky z databáze RUIAN.	27
5.1	Vektorová bodová vrstva s adresními místy – Písečná.	33
5.2	Posun v souřadnicích v systémech S-JTSK a WGS 84.	34
5.3	Vizualizace dopravní infrastruktury podkladových dat StreetNet.	34
5.4	Izolovaná, resp. vybraná dopravní síť.	39
5.5	Příklad zjednodušení izolované dopravní sítě.	40
5.6	Vybraná a širší dopravní síť.	43

Seznam tabulek

1.1	Počty oslovených subjektů z praxe – mezinárodní úroveň.	4
1.2	Počty oslovených subjektů z praxe – národní úroveň.	4
1.3	Softwarové nástroje pro návrhy tras obslužných vozidel.	5
2.1	Atributy uzlů v reálné dopravní síti.	11
2.2	Atributy úseků v reálné dopravní síti.	11
2.3	Matice ohodnocení hran.	15
2.4	Matice vzdáleností.	16
2.5	Relační operátory.	18
3.1	Matice ohodnocení hran pro izolovanou množinu hran.	23
3.2	Matice ohodnocení „nutných“ hran.	24
3.3	Matice ohodnocení „možných“ hran.	24
5.1	Disponibilní data – Písečná.	31
5.2	Strukturovaná vstupní data – Písečná.	32
5.3	Matice vzdáleností.	35
5.4	Tabulkový zápis OD matice 1. část.	36
5.5	Tabulkový zápis OD matice 2. část.	36
5.6	Tabulkový zápis OD matice 3. část.	36
5.7	Tabulkový zápis OD matice 4. část.	36
5.8	Tabulkový zápis OD matice 5. část.	36
5.9	Tabulkový zápis OD matice 6. část.	36
5.10	Tabulkový zápis OD matice 7. část.	37
5.11	Tabulkový zápis OD matice 8. část.	37
5.12	Tabulkový zápis OD matice 9. část.	37
5.13	Disponibilní data – Olomouc.	38
5.14	Matice ohodnocení hran	41
5.15	Tabulkový zápis MOH „nutné“ hrany 1. část.	44
5.16	Tabulkový zápis MOH „nutné“ hrany 2. část.	44
5.17	Tabulkový zápis MOH „možné“ hrany 1. část.	45
5.18	Tabulkový zápis MOH „možné“ hrany 2. část.	45
5.19	Tabulkový zápis MOH „možné“ hrany 3. část.	46
5.20	Tabulkový zápis MOH „možné“ hrany 4. část.	46

Seznam zkratek

B	Typ orientace hran „black“
CP	Číslo popisné
D	Destinations (<i>cíle</i>)
EkF	Ekonomická fakulta
F	Typ orientace hran „from“
FT	Typ orientace hran „from – to“
GIS	Geographic Information System (<i>geografický informační systém</i>)
GPS	Global Positioning System (<i>globální polohový systém</i>)
HGF	Hornicko-geologická fakulta
CHPP	Chinesse Postman Problem
ID	Identifikátor
ID PU	Identifikátor počátečního uzlu
ID KU	Identifikátor koncového uzlu
MOH	Matice ohodnocení hran
NAME	Název relace
O	Origins (<i>zdroje</i>)
OD	Matice vzdáleností
OSM	OpenStreetMap
PSP	Per Stop Pricing (<i>financování závislé na počtu zastávek</i>)
R	Řádek
RÚIAN	Registr územní identifikace, adres a nemovitostí
S-JTSK	Jednotná trigonometrická síť katastrální
SN	StreetNet
SQL	Standard Query Language (<i>standardizovaný strukturovaný dotazovací jazyk</i>)
T	Typ orientace hran „to“
TF	Typ orientace hran „to – from“
TL	Vzdálenost
TSP	Traveling Salesman Problem
VRP	Vehicle Routing Problem
VŠB	Vysoká škola báňská
WGS 84	World Geodetic System 1984

Seznam symbolů

„TEXT“	atribut
„Text“	funkce
„TEXT“	název
$*.csv$	soubor tabulkových dat oddělených čárkami
$*.txt$	textový soubor
$*.xls, *.xlsx$	soubory aplikace MS Excel
b_j	požadavek j -tého zákazníka
$c(h)$	ohodnocení hrany h , pokud $h \in H$
$d(v)$	ohodnocení vrcholu v , pokud $v \in V$
$\{d\}$	depo
e_{ij}	ohodnocení hrany ij , pokud $ij \in V \wedge e_{ij} \subset l_{ij}$
f_{ij}	ohodnocení hrany ij , pokud $ij \in V \wedge f_{ij} \subset l_{ij}$
G, G_1, G_2	množina, podmnožina grafu, resp. migrafu
$\overrightarrow{G}, \overrightarrow{G_1}, \overrightarrow{G_2}$	množina, podmnožina digrafu
H, H_1, H_2	množina, podmnožina hran
$\overrightarrow{H}$	množina orientovaný hran
K	kapacita obslužného vozidla
l_{ij}	ohodnocení hrany ij , pokud $ij \in V$
m	počet vrcholů
n	počet hran
$\mathbb{R}^+$	množina reálných nezáporných čísel
$\{s\}$	skládka
T	prohibitivní konstanta
V, V_1, V_2	množina, podmnožina vrcholů
v_i	i -tý vrchol
z_j	j -tý zákazník
$\mu(v_1, v_m)$	tah, cesta
$d(\mu(v_1, v_m))$	délka tahu, cesty

Předmluva

Předložená metodika „Zpracování nehomogenních vstupních dat s využitím GIS“ je jedním ze závěrečných výstupů projektu TH02010930 „Efektivní přístupy k úsporným a adaptabilním systémům údržby a obsluhy dopravních sítí“. Tento projekt byl řešen v období let 2017-2020 na Vysoké škole báňské – Technické univerzitě Ostrava řešitelským týmem z Ekonomické fakulty a Hornicko-geologické fakulty. Projekt byl podpořen Programem na podporu aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje Technologické agentury ČR, EPSILON.

Metodika je koncipována pro využití v rozhodovacích oblastech zaměřených na obsluhu a údržbu dopravních sítí, kde jsou požadovány různé typy matic vzdáleností odpovídajících cestní síti. Vstupní data zpracovaná dle metodiky jsou využitelná v celé řadě výpočetních nástrojů a jsou obecně použitelná pro různé druhy úloh (trasovací, dopravní, lokačně-alokační úlohy, přiřazovací problémy, atd.). Primárním adresátem metodiky jsou především projekční a logistické subjekty a výzkumné organizace.

Autory metodiky jsou **Ing. Mgr. Petr Kozel, Ph.D.**, hlavní řešitel projektu, (EkF, Katedra matematických metod v ekonomice) a **Ing. Lucie Orlíková, Ph.D.**, člen řešitelského týmu, (HGF, Katedra geoinformatiky). Na řešení projektu se dále podíleli:

doc. Ing. Václav Friedrich, Ph.D.
EkF, Katedra matematických metod
v ekonomice

RNDr. Marek Pomp, Ph.D.
EkF, Katedra matematických metod
v ekonomice

Mgr. Taťána Funioková, Ph.D.
EkF, Katedra matematických metod
v ekonomice

Bc. Ida Orzadalová
EkF, Katedra matematických metod
v ekonomice

doc. Ing. Igor Ivan, Ph.D.
HGF, Katedra geoinformatiky

Ing. Alena Adámková
EkF, Ekonomické oddělení

RNDr. Šárka Michalcová, Ph.D.
EkF, Katedra matematických metod
v ekonomice

V rámci ověřování dílčích kroků vedoucích k vytvoření metodiky bylo spolupracováno s několika subjekty z praxe. Jednalo se především o Nehlsen Třinec, s.r.o., Technické služby města Olomouce, a.s. a SLUŽBY MĚSTA JIHLAVY, s.r.o. Nejvýznamněji se pak na spolupráci podíleli:

Ing. Josef Eder

SLUŽBY MĚSTA JIHLAVY, s.r.o.

Havlíčková 218/64, 586 01 Jihlava 1

Marian Dzik

Nehlsen Třinec, s.r.o.

Jablunkovská 392, 739 61 Třinec

Ing. Pavel Musil

Technické služby města Olomouce, a.s.

Zamenhofova 783/34, 772 11 Olomouc

Ing. Radim Plachý

Technické služby města Olomouce, a.s.

Zamenhofova 783/34, 772 11 Olomouc

V průběhu řešení projektu, jehož jedním z výstupů je tato metodika, byly stanovené cíle, přístupy k řešení i dílčí dosažené výsledky pravidelně konzultovány s Ministerstvem dopravy ČR, které bylo zastoupeno panem **Ing. Václavem Krumphanzlem** z Odboru pozemních komunikací.

Pro účely certifikace byla metodika předložena k oponentnímu řízení. Oponentní posudky vypracovali:

Ing. Michal Turek, Ph.D.

Vysoká škola logistiky, o.p.s.

Palackého 1381/25,

750 02 Přerov

Bc. Ivan Macek

Frýdecká skládka, a.s.

Panské Nové Dvory 3559,

738 01 Frýdek-Místek

Kapitola 1

Úvod

Plánování tras vozidel, zabezpečujících obsluhu a údržbu dopravní sítě je neodmyslitelnou součástí rozhodovacího procesu všech subjektů, které tyto dopravně obslužné činnosti vykonávají. V praxi se může jednat o údržbu a čištění pozemních komunikací, rozvoz zásilek zákazníkům, svoz komunálního či separovaného odpadu či o jiné svozně-rozvozní služby.

Společnou otázkou pro všechny technické oblasti, ve kterých je plánování tras realizováno, je, jak navrhnout trasy obslužných vozidel tak, aby bylo zohledněno zvolené optimalizační kritérium, a zároveň byla respektována všechna podstatná omezení, která vyplývají z reálného provozu. Pro podporu rozhodování v těchto oblastech je v dnešní době možné využít celou škálu teoretických poznatků, které jsou věnovány právě problematice trasování obslužných vozidel (VRP). Otázku, kterou je však nutné v dané souvislosti položit, je, nakolik jsou tyto poznatky a přístupy reálně využívány v praxi. Odpověď na tuto otázku je podrobně předložena v podkapitole 1.1 a z této odpovědi pak vyplývá samotná motivace k tvorbě metodiky jako takové.

1.1 Rešerše

Aby bylo možné kvalitně přistoupit k problematice návrhů tras obslužných vozidel, je nutné vyjít z podrobné rešerše, která započala již před samotným řešením projektu. Cílem této časově i tematicky plošné rešerše bylo shromáždit širokou množinu informací o stavu průřezu teoretického poznání a praktických aplikací do praxe. Toto mapování skutečnosti bylo prováděno v rámci komunikace nebo přímo spolupráce se subjekty, které se věnují údržbě a obsluze dopravních sítí. V praxi se nejčastěji jedná o subjekty, které zabezpečují svoz komunálního odpadu, údržbu a úklid pozemních komunikací, a zjišťování probíhalo jak na národní, tak na mezinárodní úrovni.

Pro lepší možnost porovnávat informace o současném stavu byl průzkum realizován s ohledem na tři kategorie (A, B, C) odstupňované podle velikostí obsluhovaných oblastí. Klíčovou informací pro rozlišení jednotlivých kategorií je počet obyvatel připadajících na danou oblast. V praxi se jedná o rozdělení jednotlivých územních celků (obcí) do velikostně odpovídajících si kategorií. Lze předpokládat, že v takto rozlišených množinách lze stavy využívání teoretických poznatků a aplikací praktických přístupů vzájemně porovnávat.

Jedná se o následující kategorie:

- **A** 40 tis. – 100 tis. obyvatel,
- **B** 100 tis. – 400 tis. obyvatel,
- **C** 400 tis. – výše.

Porovnávání je pak možné provádět nejen mezi subjekty náležícími do stejné kategorie, ale i mezi odpovídajícími si kategoriemi při mezinárodně orientovaném průzkumu. Jednotlivé kategorie jsou nastaveny s ohledem na výsledky dřívějších průzkumů. Z prováděného šetření jsou vyňaty menší územní útvary – subjekty zabezpečující obsluhu těchto oblastí většinou nevyužívají specializované přístupy, ale vycházejí především z empirických zkušeností. Tato skutečnost je společná pro národní i mezinárodní sféru.

V rámci rešerše, která byla kontinuálně prováděna po celou dobu řešení projektu, bylo souhrnně (na národní i mezinárodní úrovni) osloveno přes 130 subjektů z praxe. Na mezinárodní úrovni se jednalo o 104 subjektů z Chorvatska, Kanady, Německa, Polska, Slovenska, Slovinska, Španělska, USA a Velké Británie. Na národní úrovni se jednalo o 27 subjektů z České republiky. Počty oslovených subjektů z praxe v jednotlivých kategoriích jsou uvedeny v tabulce č. 1.1 a v tabulce č. 1.2.

TABULKA 1.1: Počty oslovených subjektů z praxe v jednotlivých kategoriích na mezinárodní úrovni.

Kategorie	A	B	C
Osloveno	62	26	16
Odpovědělo	13	2	2

Zdroj: Vlastní zpracování.

TABULKA 1.2: Počty oslovených subjektů z praxe v jednotlivých kategoriích na národní úrovni.

Kategorie	A	B	C
Osloveno	20	5	2
Odpovědělo	9	2	2

Zdroj: Vlastní zpracování.

Shrnutím obdržených odpovědí lze konstatovat, že v rámci kategorie **A** nejsou pro podporu rozhodování využívány žádné optimalizační nástroje. Jednotlivé návrhy svozových tras jsou stanovovány především „ručně“ na základě dlouhodobých zkušeností dispečerů s přihlédnutím k dřívějšímu způsobu realizace svozu. Tato situace je shodná jak pro národní, tak i mezinárodní úroveň.

Situaci v kategorii **B** je již však nutné zhodnotit zvlášť pro národní i mezinárodní úroveň. Pro národní úroveň stále platí, že obdobně jako u kategorie **A**, jsou i v kategorii **B** využívány především empirické zkušenosti a intuitivní přístupy. Na mezinárodní úrovni již v této kategorii existují subjekty, které pro návrhy svozových

tras využívají softwarové nástroje pro podporu rozhodování.¹

V rámci kategorie C je situace na národní i mezinárodní úrovni obdobná a lze shrnout, že subjekty zabezpečující obsluhu a údržbu dopravních sítí využívají pro podporu rozhodování softwarové nástroje jako například RouteSmart, Webaspx, Arc-Logistics Route apod.

1.2 Motivace k tvorbě metodiky

Na základě výše popsané rešerše zaměřené na využívání optimalizačních přístupů v praxi lze konstatovat, že samotné problematice návrhu optimálních tras obslužných vozidel věnují pozornost všechny subjekty, které zabezpečují některou z forem údržby a obsluhy dopravních sítí. Při samotném plánování však jednotlivé subjekty volí různé nástroje pro podporu rozhodování. Z mapování současného stavu jak na národní, tak mezinárodní úrovni vyplývá, že přes skutečnost, že existuje mnoho teoretických přístupů k návrhu tras obslužných vozidel, v praxi nejsou v mnoha případech využívány. Jaké mohou být důvody?

Jedním z důvodů může být skutečnost, že subjekty z praxe nedisponují potřebnými podkladovými daty o cestní síti, resp. dopravní infrastruktuře, která jsou pro optimalizační přístupy potřebná. Často mají k dispozici pouze informace o poštovních adresách zákazníků, někdy pouze informace o názvech ulic, které je potřeba obsloužit. Subjekty nezřídka nedisponují elektronickými mapami, nemají k dispozici informace o vzdálenostech mezi klíčovými místy v dopravní síti. Možnost využití specializovaných komerčních nástrojů (software) je pro mnoho ze subjektů nedostupná, především pro vysokou finanční nákladnost. Tabulka č. 1.3 shrnuje nejvíce rozšířené softwarové nástroje, které jsou pro návrhy tras obslužných vozidel využívány. [11, 37]

TABULKA 1.3: Softwarové nástroje pro návrhy tras obslužných vozidel.

Produkt	Společnost	Cena
ArcLogistics Route	ESRI	od 10 000 \$
Direct Route	Appian Logistics Software	od 23 500 \$
ClearD Optima	Clear Destination	PSP \$
JOpt	DNA Evolutions	20 000 \$
ODL Studio	Open Door Logistics	Free
Routyn	Wide Scope	40 000 \$

Zdroj: Vlastní zpracování s využitím [11, 37].

ArcLogistic Route je produktem společnosti ESRI [6], která se dlouhodobě zabývá správou a analýzou geografických informací. Nástroj je určen jak pro zákazníky s malým počtem vozidel, tak pro zákazníky disponujícími stovkami vozidel, pro které je nutné plánovat obslužné trasy. Orientační cena jedné licence tohoto produktu se pohybuje od 10 000 \$ výše. V ceně nejsou zahrnuty roční poplatky spojené s aktualizací nástroje a datových podkladů. Tyto dodatečné aktualizací poplatky se

¹Toto tvrzení je však vhodné podepřít širším vzorkem respondentů a dotazování v této oblasti stále probíhá.

pohybují od 4 000 \$ za rok.

Direct Route je produktem společnosti Appian Logistics Software a je určen pro plánování tras obslužných vozidel vykonávajících jak obsluhu vrcholu, tak obsluhu hrany. Orientační cena tohoto produktu se pohybuje od 23 000 \$.

Cloudový nástroj ClearD Optima od společnosti Clear Destination [5] je určen pro plánování tras obslužných vozidel vykonávajících jak obsluhu vrcholu, tak obsluhu hrany. Cena tohoto produktu je stanovována na základě PSP platformy, kdy je licenční poplatek stanovován s ohledem na počet obsluhovaných míst a počet vozidel, pro které jsou návrhy tras stanovovány. Nástroj je nabízen od roku 2008.

Optimalizační řešení JOpt je produktem německé společnosti DNA Evolutions GmbH [7]. JOpt je určen výhradně pro návrhy zaměřené na obsluhu vrcholu. Je kompatibilní s podkladovými daty Google Maps a OpenStreetMap. Orientační cena tohoto produktu se pohybuje od 20 000 \$ a produkt je nabízen od roku 2006.

Nástroj ODL Studio je jedním z novějších nástrojů společnosti Open Door Logistics [26] a je k dispozici od roku 2014. Je však rovněž určen pouze pro návrhy tras zaměřené na obsluhu vrcholu a využívá podkladových dat databáze OpenStreetMap. Tento nástroj je nabízen uživatelům zdarma.

Routyn je optimalizačním nástrojem nabízeným portugalskou společností Wide Scope [39] od roku 2010. Tento nástroj je určen jak pro obsluhu vrcholu, tak pro obsluhu hrany a jako podkladová data využívá mapy z platformy OpenStreetMap. Orientační cena tohoto produktu se pohybuje od 40 000 \$.

Dalším z důvodů možného nevyužívání specializovaných nástrojů je, že tyto nástroje obecně nemají univerzální použití a specifika vlastní jednotlivým případům je potřeba dodatečně konfigurovat prostřednictvím odborníků.

Možné východisko nabízející dostupnost využití množiny optimalizačních přístupů i pro subjekty, které je z různých důvodů doposud nevyužívaly, spočívá v kooperaci subjektu z praxe s výpočetním subjektem. Tento druh způsobu podpory rozhodování je pak využitelný v oblasti strategického řízení. Na jedné straně existuje subjekt z praxe, zabezpečující některou ze služeb, pro kterou je nutné plánovat trasy obslužných vozidel. Tento disponuje vstupními daty v různém tvaru (nehomogenní vstupní data). Zároveň klade specifické požadavky na způsob obsluhy dopravní sítě a na podobu výstupů. Na druhé straně existuje výpočetní subjekt, který disponuje optimalizačními nástroji, nástrojem GIS a metodikou zpracování nehomogenních vstupních dat. Výpočetní subjekt je s těmito vstupy schopen realizovat proces přípravy normalizovaných vstupních dat a vstupních dat pro specifické požadavky a následně realizovat proces optimalizace s využitím matematických modelů (obecných i specifických – dle požadavků subjektu z praxe). Výstupy z procesu optimalizace jsou pak v podobě tras obslužných vozidel postoupeny zpět k subjektu z praxe. Forma těchto výstupů je zároveň přizpůsobena požadavkům subjektů z praxe (tištěné, elektronické, trasy v datové formě pro načtení GPS přístrojem v samotném vozidle).

Předložený text metodiky podstatným způsobem přispívá k řešení zcela zásadního kroku přípravy vstupních dat pro realizaci jednotlivých optimalizačních výpočtů.

Kapitola 2

Vymezení základních pojmů

V rámci této kapitoly budou představeny základní pojmy, které jsou nutné pro následný popis problematiky a bude na ně v textu metodiky dále odkazováno.

2.1 Reálná dopravní síť

Reálná dopravní síť je tvořena dvěma objekty. Jedná se o *uzly* a *úseky*. Uzly představují významná místa v dopravní síti (zákazníci, křižovatky, počátky a konce pozemních komunikací apod.). Úseky pak představují spojnice mezi nimi. Oba objekty lze dále blíže specifikovat prostřednictvím jejich atributů.

2.1.1 Atributy uzlů

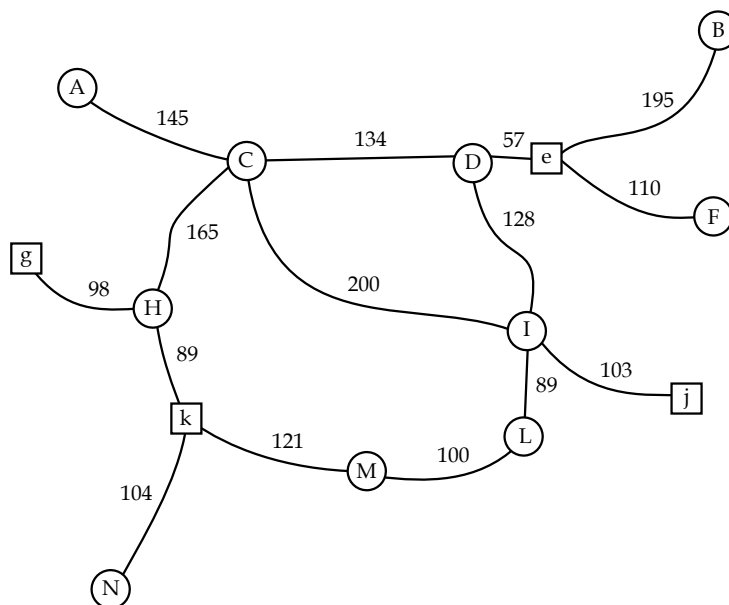
Hlavními atributy uzlů jsou:

- identifikační číslo uzlu,
- název uzlu,
- lokalizace uzlu.

Identifikační číslo je zástupným symbolem konkrétního uzlu a je jednoznačně spojeno s názvem uzlu a jeho lokalizací. Jedná se o číslo z intervalu $1, \dots, m$, přičemž číslo m představuje celkový počet uzlů v konkrétní dopravní síti. [14] Název uzlu nejčastěji odpovídá jménu konkrétního zákazníka, případně jinému verbálnímu pojmenování uzlu (Jan Novák, křižovatka Polní-Sadová, počátek pozemní komunikace – ulice Sadová apod.). Lokalizace uzlu představuje polohu uzlu v prostoru a bude podrobněji popsána v souvislosti s geoinformačními systémy v podkapitole 2.4.1.

Mapová vrstva

S lokalizací uzlů úzce souvisí pojem vrstva, resp. vrstvy, které slučují objekty se stejnými charakteristikami. Vrstvy mohou představovat například využití krajiny, nadmořskou výšku, vlastnictví ploch apod. V těchto případech se jedná především o spojitě plochy a jsou reprezentovány v rastrové podobě. Vrstvy však mohou dále představovat dopravní infrastrukturu, uliční síť, jednotlivé zákazníky apod. V těchto případech se jedná o diskrétní objekty, které jsou reprezentovány především ve vektorovém tvaru. Reálná dopravní síť je součástí vektorové vrstvy dopravní infrastruktury a její schematické znázornění je zachyceno na obrázku č. 2.1.



OBRÁZEK 2.1: Schematické znázornění reálné dopravní sítě.

Zdroj: Vlastní zpracování s využitím [14].

Uzly reálné dopravní sítě jsou reprezentovány kruhy a čtverci, přičemž zákazníci jsou dále označeni písmeny velké abecedy (A, B, C, D, F, H, I, L, M, N). Ostatní uzly (křižovatky, počátky a konce pozemních komunikací) jsou označeny písmeny malé abecedy (e, g, j, k). Příklad atributů uzlů reálné dopravní sítě z obrázku č. 2.1 je uveden v tabulce č. 2.1. Lokalizace uzlů je v této tabulce uvedena jak ve formátu GPS souřadnic, tak ve formátu úplné poštovní adresy. Zátěž určená ke svozu je uvedena v počtech nádob jednotného typu.

Kromě hlavních atributů je možné uzlům přiřadit i vedlejší, doplňkové atributy. Doplňujícím atributem uzlu může být například informace o velikosti zátěže určené ke svozu-rozvozu, interval obsluhy uzlu a další.

2.1.2 Atributy úseků

Hlavními atributy úseků jsou:

- identifikační číslo:
 - úseku,
 - počátečního a koncového uzlu úseku,
- délka úseku,
- orientace úseku,
- typ úseku.

Identifikační číslo úseku, podobně jako identifikační číslo uzlu, je jednoznačně spojeno s konkrétním úsekem v reálné dopravní síti. Jedná se o číslo z intervalu $1, \dots, n$, přičemž číslo n představuje celkový počet úseků v konkrétní dopravní síti. Každý úsek je možné jednoznačně identifikovat i prostřednictvím dvojice identifikátorů, a to identifikačních čísel počátečního a koncového uzlu konkrétního úseku.

TABULKA 2.1: Atributy uzlů v reálné dopravní síti.

ID	Název	Adresa	Latitude	Longitude	Zátěž
1	Zákazník A	Písek 37, Frýdek-Místek	49,5593511	18,8015850	2
2	Zákazník B	Písek 62, Frýdek-Místek	49,5599336	18,8065588	1
3	Zákazník C	Písek 55, Frýdek-Místek	49,5588439	18,8030936	3
4	Zákazník D	Písek 216, Frýdek-Místek	49,5590333	18,8047350	2
5	křižovatka e		49,5591239	18,8055236	-
6	Zákazník F	Písek 67, Frýdek-Místek	49,5588908	18,8070419	1
7	ukončení g		49,5587811	18,8009183	-
8	Zákazník H	Písek 437, Frýdek-Místek	49,5581269	18,8020019	2
9	Zákazník I	Písek 210, Frýdek-Místek	49,5582278	18,8052475	1
10	ukončení j		49,5578833	18,8067281	-
11	křižovatka k		49,5577433	18,8025775	-
12	Zákazník L	Písek 406, Frýdek-Místek	49,5574067	18,8051617	1
13	Zákazník M	Písek 429, Frýdek-Místek	49,5572606	18,8042603	1
14	Zákazník N	Písek 433, Frýdek-Místek	49,5568081	18,8023936	3

Zdroj: Vlastní zpracování.

Délka úseku představuje vzdálenost mezi počátečním a koncovým uzlem v metrech. Orientace úseku identifikuje směr, ve kterém je úsek průjezdný. Typ úseku pak slouží k rozlišení jednotlivých kategorií pozemních komunikací. Tyto kategorie pozemních komunikací mohou tvořit další podmnožiny vrstvy reálné dopravní sítě. Příklad atributů úseků reálné dopravní sítě z obrázku č. 2.1 je uveden v tabulce č. 2.2. Zkratkami „ID PU“ a „ID KU“ je označen počáteční a koncový uzel příslušného úseku. Délka úseků je uvedena v metrech.

TABULKA 2.2: Atributy úseků v reálné dopravní síti.

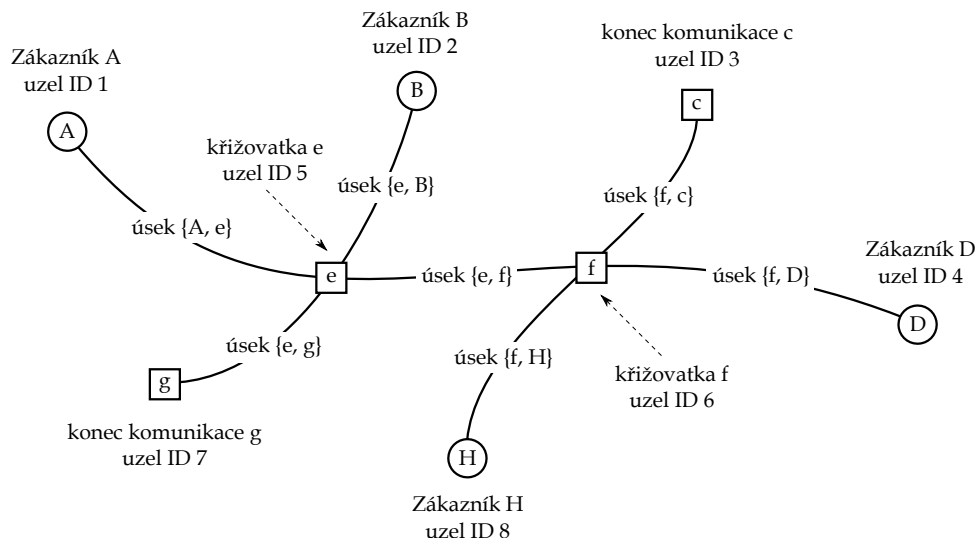
ID	ID PU	ID KU	Délka	Orientace	Typ
1	1 (A)	3 (C)	145	1-3, 3-1	III.
2	3 (C)	4 (D)	134	3-4, 4-3	III.
3	4 (D)	5 (e)	57	4-5, 5-4	III.
4	5 (e)	2 (B)	195	5-2, 2-5	IV.
5	3 (C)	8 (H)	165	8-3	IV.
6	3 (C)	9 (I)	200	3-9, 9-3	IV.
7	4 (D)	9 (I)	128	4-9	IV.
8	5 (e)	6 (F)	110	5-6, 6-5	III.
8	8 (H)	7 (g)	98	8-7, 7-8	IV.
9	9 (I)	10 (j)	103	9-10, 10-9	IV.
10	8 (H)	11 (k)	89	8-11, 11-8	IV.
11	9 (I)	12 (L)	89	9-12, 12-9	IV.
12	11 (k)	13 (M)	121	11-13, 13-11	IV.
13	13 (M)	12 (L)	100	13-12, 12-13	IV.
14	11 (k)	14 (N)	104	11-14, 14-11	IV.

Zdroj: Vlastní zpracování s využitím [14].

2.2 Náhradní dopravní síť

Přestože je reálná dopravní síť podrobně popsána prostřednictvím interakce uzlů, úseků a jejich atributů, pro potřeby optimalizačních výpočtů je výhodnější pracovat s modelem dopravní sítě, někdy označovaným jako náhradní dopravní síť. [14] Model dopravní sítě zachovává všechny podstatné vlastnosti reálných sítí a zároveň umožňuje zanedbat vlastnosti nepodstatné. Z odborného hlediska je tato problematika popsána s využitím teorie grafů, viz např. [3, 29].

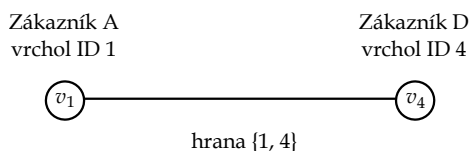
V teorii grafů je náhradní dopravní síť modelována prostřednictvím grafu¹, který je tvořen dvěma základními prvky. Jedná se o *vrcholy* a *hrany*. Jak již bylo výše uvedeno, model reálné dopravní sítě, tedy náhradní dopravní síť, má nižší rozlišovací schopnost než reálná dopravní síť. Zatímco uzly reálné dopravní sítě reprezentují všechny významné body, vrcholy grafu představují pouze určitý výběr z těchto bodů, a to navíc s ohledem na typ řešeného problému. Hrany grafu pak představují spojnice dvojic různých vrcholů grafu. Na níže uvedených obrázcích č. 2.2 až č. 2.4 je zachyceno zjednodušení spojnice uzlů, představující zákazníky A a D v reálné dopravní síti, obr. č. 2.2 do podoby grafu. Situace je znázorněna jak pro případ obsluhy zaměřené na vrchol, obr. č. 2.3, tak pro případ obsluhy zaměřené na hranu, obr. č. 2.4.



OBRÁZEK 2.2: Schematické znázornění reálné dopravní sítě s detailním popisem úseků.

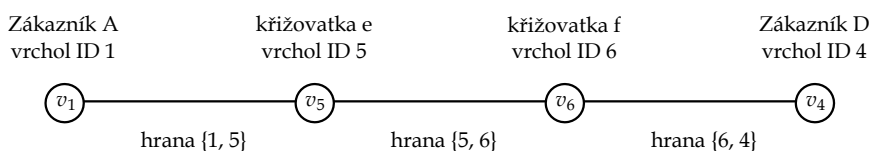
Zdroj: Vlastní zpracování.

¹Zde je vhodné poznamenat, že s ohledem na správné názvosloví, je v teorii grafů rozlišováno mezi *grafem*, *digrafem*, *migrafem* a dalšími odvozenými strukturami. Zároveň je však označení *graf* používáno jako souhrnné označení pro všechny tyto struktury. V případech, kdy to bude významné, budou jednotlivé struktury rozlišovány přísně, tedy *digraf*, *migraf* apod. V ostatních případech bude označení *graf* použito jako nadřazený pojem.



OBRÁZEK 2.3: Diagram grafu, reprezentující spojnici zákazníků A a D za předpokladu obsluhy vrcholu.

Zdroj: Vlastní zpracování.



OBRÁZEK 2.4: Diagram grafu, reprezentující spojnici zákazníků A a D za předpokladu obsluhy hrany.

Zdroj: Vlastní zpracování.

Podstatnou vlastností úseků v reálné dopravní síti je jejich orientace. Stejnou vlastnost mají i hrany v grafu a rozlišujeme:

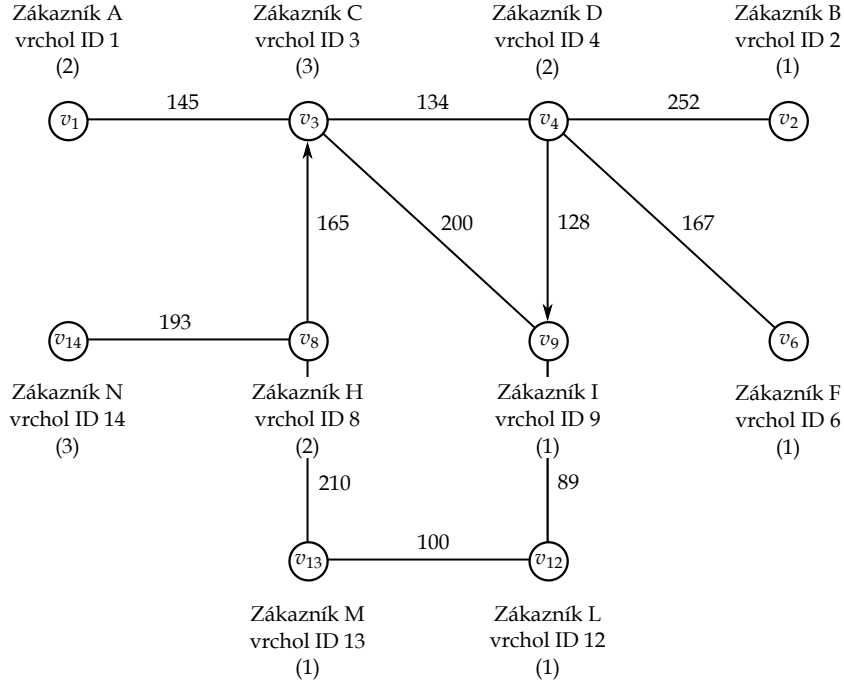
- neorientované hrany (průjezdné v obou směrech),
- orientované hrany (průjezdné ve směru orientace hrany).

Reálné dopravní síť lze tedy s využitím teorie grafů modelovat prostřednictvím migrafů (smíšených grafů). Tyto smíšené grafy $G = (V, H)$ jsou jednoznačně určeny množinou vrcholů $V = 1, \dots, m$ a množinou neorientovaných a orientovaných hran $H = 1, \dots, n$. Jak vrcholy, tak hrany mohou být navíc ohodnoceny, pak hovoříme o hranově a vrcholově ohodnocených migrafech $G = (V, H, c)$, $G = (V, H, d)$, příp. $G = (V, H, c, d)$.

Ohodnocení hrany $c(h)$, kde $h \in H$ je reálné číslo, které odpovídá vzdálenostem v reálné dopravní síti. Podobně, ohodnocení vrcholu $d(v)$, kde $d \in V$ je reálné číslo, odpovídající zátěži určené ke svozu-rozvozu. Reálné dopravní síť z obrázku č. 2.1, odpovídá migraf, jehož diagram je zachycen na obrázku č. 2.5. Orientované hrany představují možnost průchodu hranou ve směru její orientace. Čísla v závorkách pak představují ohodnocení vrcholu v podobě zátěže určené ke svozu. Číselné ohodnocení hran pak odpovídá vzdálenostem v reálné dopravní síti v metrech.

2.3 Cestování v grafech

Vzhledem ke skutečnosti, že předmětem návrhu optimální trasy obslužného vozidla je konkrétní posloupnost jednotlivých vrcholů, je potřebné definovat několik pojmů, týkajících se průchodů grafy. Především se jedná o *sled*, *cestu* a *tah*. Tyto pojmy popisují způsob a možnosti „cestování“ v rámci zadaného grafu, přeneseně pak možnosti pohybu vozidla v reálné dopravní síti.



OBRÁZEK 2.5: Diagram migrafu $G = (V, H, c, d)$, který je modelem reálné dopravní sítě z obrázku č. 2.1.

Zdroj: Vlastní zpracování.

Sled

Definice 2.1. Sled v grafu $G = (V, H)$ (resp. v migrafu) je střídavá (smíšená) posloupnost vrcholů a hran, která začíná a končí ve vrcholu. Pro případ migrafu musí dále platit, že hrany jsou do posloupnosti zařazovány pouze souhlasně s jejich orientací.

$$\mu(v_1, v_m) = (v_1, (v_1, v_2), v_2, (v_2, v_3), v_3, \dots, (v_{m-1}, v_m), v_m) \quad (2.1)$$

Cesta

Definice 2.2. Cesta $\mu(v_1, v_m)$ v grafu $G = (V, H)$ (resp. v migrafu) je sled, ve kterém se neopakuje žádný vrchol.

Tah

Definice 2.3. Tah $\mu(v_1, v_m)$ v grafu $G = (V, H)$ (resp. v migrafu) je sled, ve kterém se neopakuje žádná hrana.

Délka tahu a cesty

Definice 2.4. Délka tahu $d(\mu(v_1, v_m))$, resp. délka cesty je součet ohodnocení hran zařazených do tohoto tahu, resp. do této cesty.

$$d(\mu(v_1, v_m)) = \sum_{h \in \mu(v_1, v_m)} c(h) \quad (2.2)$$

Souvislost

Definice 2.5. Digraf, resp. migraf $\vec{G} = (V, H)$ je neorientovaně souvislý, pokud je souvislý bez ohledu na orientaci hran.

Definice 2.6. Digraf, resp. migraf $\vec{G} = (V, H)$ je orientovaně souvislý, pokud pro každou dvojici vrcholů $u, v \in V$ existuje v $\vec{G}$ orientovaný $u - v$ sled nebo orientovaný $v - u$ sled.

Definice 2.7. Digraf, resp. migraf $\vec{G} = (V, H)$ je silně souvislý, pokud pro každou dvojici vrcholů $u, v \in V$ existuje v $\vec{G}$ orientovaný $u - v$ i orientovaný $v - u$ sled.

2.3.1 Matice ohodnocení hran a matice vzdáleností

Jak již bylo výše uvedeno, ohodnocení hran $c(h)$ v grafech, odpovídá vzdálenostem v reálné dopravní síti v metrech. Tato vzdálenost je vypočtena s využitím vztahu (2.2) jako délka nejkratší cesty mezi počátečním a koncovým vrcholem.²

Pro větší přehlednost a pro potřeby optimalizačních výpočtů jsou ohodnocení hran, resp. vzdálenosti zaznamenávány formou maticového zápisu. Matice ohodnocení hran (MOH) obsahuje pouze vzdálenosti, odpovídající přímým spojením. Často je však nutné disponovat právě maticí vzdáleností (OD), která obsahuje informace o vzdálenostech mezi všemi dvojicemi vrcholů. Jsou zde tedy uvažována i nepřímá spojení přes jiné (tranzitní) vrcholy, stále však při zachování kritéria minimální vzdálenosti. V tabulce č. 2.3 je uvedena matice ohodnocení hran, v tabulce č. 2.4 pak matice vzdáleností. Obě matice korespondují s diagramem grafu G , zachyceném na obrázku č. 2.5.³

TABULKA 2.3: Matice ohodnocení hran.

	v_1	v_2	v_3	v_4	v_6	v_8	v_9	v_{12}	v_{13}	v_{14}
v_1	-	-	145	-	-	-	-	-	-	-
v_2	-	-	-	252	-	-	-	-	-	-
v_3	145	-	-	134	-	-	200	-	-	-
v_4	-	252	134	-	167	-	128	-	-	-
v_6	-	-	-	167	-	-	-	-	-	-
v_8	-	-	165	-	-	-	-	-	210	193
v_9	-	-	200	-	-	-	-	89	-	-
v_{12}	-	-	-	-	-	-	89	-	100	-
v_{13}	-	-	-	-	-	210	-	100	-	-
v_{14}	-	-	-	-	-	193	-	-	-	-

Zdroj: Vlastní zpracování.

²Po případném zanedbání nevýznamných uzlů, resp. vrcholů.

³Zde je vhodné poznamenat, že, přísně vzato, matici vzdáleností přesně odpovídá pouze úplný migraf, obsahující všechna spojení. Tento úplný migraf je však s ohledem na reálnou situaci pouze fiktivní strukturou.

TABULKA 2.4: Matice vzdáleností.

	v_1	v_2	v_3	v_4	v_6	v_8	v_9	v_{12}	v_{13}	v_{14}
v_1	0	531	145	279	446	145	345	434	355	338
v_2	531	0	386	252	419	386	380	469	569	579
v_3	145	386	0	134	301	0	200	289	210	193
v_4	279	252	134	0	167	134	128	217	317	327
v_6	446	419	301	167	0	301	295	384	484	494
v_8	310	551	165	299	466	0	365	310	210	193
v_9	279	252	134	0	167	134	0	89	189	327
v_{12}	368	341	223	89	256	223	89	0	100	416
v_{13}	468	441	323	189	356	210	189	100	0	403
v_{14}	503	744	358	492	659	193	558	503	403	0

Zdroj: Vlastní zpracování.

2.4 Geografické informační systémy

Pro získání potřebných informací o dopravních sítích, ať už se jedná o síť reálné nebo náhradní, je nevyhnutelné použití geoinformačních systémů (GIS). Jedná se o speciální druh informačních systémů, které umožňují získávat, udržovat, analyzovat, zobrazovat informace o vlastnostech objektů, jejich poloze a vzájemných prostorových vztazích mezi nimi, přičemž je využíváno tzv. prostorových dat. Základním prvkem prostorových dat je geoprvek (budova, silnice, les apod.), který je podrobně popsán prostřednictvím geometrických, popisných, časových, vztahových a funkčních vlastností. [23,30] Výhradní pozornost bude zaměřena na vlastnosti geometrické a popisné.

2.4.1 Geometrické vlastnosti geoprvku

Geometrické vlastnosti geoprvku se týkají především jeho tvaru, lokalizace v prostoru a tzv. topologie, přičemž v geoinformačních systémech je většinou pracováno s dvojrozměrným prostorem se dvěma souřadnicemi x a y .

Lokalizace

Polohu geoprvku v prostoru lze určit základními dvěma způsoby:

- přímo, prostřednictvím souřadnicových systémů,
- nepřímo, prostřednictvím geokódů.

V případě, kdy je lokalizace realizována prostřednictvím souřadnicových systémů, je dále rozlišováno mezi systémy globálními, které jsou využívány pro určování polohy vzhledem k velkým oblastem a lokálními souřadnicovými systémy, které jsou využívány pro určování polohy v rámci určitých území. [32] Příkladem globálního souřadnicového systému je systém WGS 84⁴. Jedná se o pravotočivou kartézskou soustavu souřadnic s počátkem v těžišti Země. Souřadnice GPS odpovídají této soustavě souřadnic. [31] Příkladem lokálního souřadnicového systému

⁴Globální geodetický systém, který byl vydán Ministersvem obrany USA v roce 1984 a je závazným geodetickým referenčním systémem na území ČR dle nařízení vlády č. 430/2006 Sb. v platném znění. [8,23,25]

je systém S-JTSK. Jedná se o souřadnicový systém, vycházející z Křovákova zobrazení s matematickou orientací souřadnicových os x, y . Někdy bývá označován též S-JTSK / Krovak East North⁵.

Topologie

Topologie slouží v geoinformačních systémech k popisu prostorových vztahů geoprvků a má bezprostřední vazbu na popisy reálné a náhradní dopravní sítě uvedené v podkapitolách 2.1 a 2.2. Základními topologickými prvky jsou *bod*, *linie* a *polygon*.

Bod je někdy označován jako 0D objekt a slouží k modelování bodů. Linie, označovaná též jako 1D objekt je reprezentována posloupností vektorů a je tvořena prvním a posledním bodem mezi nimiž mohou být tzv. mezilehlé body. První a poslední bod jsou označovány termínem uzel, což přímo koresponduje s popisy reálných a náhradních sítí. Průsečík a styk jednodílných linií je pak možný pouze v prvních a posledních bodech. Polygon, označován jako 2D objekt, je reprezentován uzavřenou posloupností orientovaných linií. [30]

2.4.2 Popisné vlastnosti geoprvcu

Popisné vlastnosti geoprvcu jsou též označovány termínem atributy a popisují negeometrické vlastnosti geoprvcu, např. kategorii pozemní komunikace. Každý atribut je určen dvojicí představující samotný název atributu a jemu odpovídající hodnotu, přičemž každý atribut může mít přiřazenu právě jednu hodnotu z definičního oboru hodnot tzv. domény. Popisné vlastnosti geoprvců jsou uchovávány v tabulkách v tzv. relačních datových strukturách. [32]

2.4.3 Analýza nad daty

Analýza nad daty je proces, který umožňuje využití a zpracování informací uložených v datových strukturách, ať už se jedná o geometrické, popisné či jiné informace. Podle charakteru údajů lze analýzy rozdělit na:

- vektorové,
- rastrové,
- nad atributy.

Jednotlivé analýzy jsou realizovány na základě dotazování. Jedná se např. o dotazy na geoprvky (mapové objekty), prostorové dotazy či dotazy na atributy. Proces dotazování je nejčastěji realizován prostřednictvím SQL jazyka, který využívá relační operátory uvedené v tabulce č. 2.5.

⁵S-JTSK je opět závazným geodetickým referenčním systémem na území ČR dle nařízení vlády č. 430/2006 Sb. v platném znění. [8,25]

TABULKA 2.5: Relační operátory.

Operátor	Význam
=	rovno
!=	není rovno
>	větší
>=	větší nebo rovno
<	menší
<=	menší nebo rovno
is NULL	neobsahuje hodnotu
is not NULL	obsahuje hodnotu

Zdroj: Vlastní zpracování s využitím [32].

Příkladem atributového dotazu může být dotaz na výběr všech silnic první třídy v této podobě:

```
SELECT * FROM SILNICE WHERE Trida = 1
```

Geoinformační systémy disponují širokou škálou dalších nástrojů, které je možné při analýzách využívat. Jedná se především o nástroje pro měření, nástroje mapové algebry, nástroje pro vzdálenostní a nákladové analýzy, nástroje pro analýzu sítí a další. [23, 32]

2.4.4 Softwarové nástroje

Jedním z nejrozšířenějších softwarových nástrojů pro GIS je produkt ArcGIS s jednotlivými podprodukty (ArcView, ArcEditor, ArcInfo a další). Základním produktem je ArcView, který je tvořen třemi aplikacemi ArcMap, ArcCatalog a ArcToolbox. S využitím těchto aplikací je možné realizovat komplexní správu, analýzu a vizualizaci geografických dat.

Tuto základní nástrojovou sadu lze vhodně doplnit specializovanými nadstavbami. V současné době je k dispozici 12 nadstaveb, z nichž velmi významnou je nadstavba ArcGIS Network Analyst věnována dopravním sítím a umožňuje například modelovat dopravní omezení, rychlostní limity, váhová omezení apod.). [2]

Při popisu zpracování geografických dat v předložené metodice je zohledněna právě představená platforma ArcGIS.

Kapitola 3

Kategorizace úloh

Při řešení problematiky návrhů tras obslužných vozidel lze pozornost zaměřit na dvě základní úlohy. První charakteristická úloha je zaměřena na obsluhu vrcholů grafu, kde je předmětem řešení nalezení optimální cesty. Druhá charakteristická úloha je pak zaměřena na obsluhu hrany grafu, kde je předmětem řešení nalezení optimálního tahu.

3.1 Obsluha vrcholu grafu

Úloha zaměřená na obsluhu vrcholu grafu odpovídá praktické problematice svozně-rozvozních úloh, kdy jsou požadavky zákazníků (zátěž) situovány ve vrcholech grafu. Primární pozornost je věnována vrcholům, které je nutné obsloužit. Jedním z teoretických východisek pro řešení úlohy tohoto typu je úloha obchodního cestujícího, v odborné literatuře známá pod názvem Traveling Salesman Problem (TSP). Viz [1] a další.

V rámci této úlohy je hledána tzv. minimální *Hamiltonova kružnice*. Trasa obslužného vozidla, odpovídající minimální Hamiltonově kružnici, koresponduje s reálnou situací, kdy vozidlo vyjíždí z depa (výchozí vrchol), právě jednou navštíví každého zákazníka, který vyžaduje obsluhu (tedy všechny vrcholy grafu), a poté se navrácí zpět do depa. Tento typ úlohy je často řešen v souvislosti se svozem komunálního odpadu, separovaného odpadu a obecně při návrhu tras servisních vozidel, zabezpečujících svozně-rozvozní typ obsluhy zákazníků. Základní podmínkou úlohy o vyhledání minimální Hamiltonovy kružnice je, že součet požadavků všech zákazníků vyžadujících obsluhu je menší roven kapacitě obslužného vozidla. Tuto podmínku lze matematicky vyjádřit ve tvaru:

$$\sum_{j=2}^m b_j \leq K, \quad (3.1)$$

kde b_j jsou konkrétní požadavky zákazníků, kteří jsou situováni ve vrcholech grafu $j = 2, \dots, m$ a K je kapacita obslužného vozidla. Pokud tato podmínka 3.1 není v praxi splněna, je nutné samotnému trasování vozidel předřadit dekompozici zákazníků do dílčích podmnožin s ohledem na kapacity obslužných vozidel. Tato problematika je podrobně popsána v [16, 20, 27].

V rámci svozně-rozvozních úloh jsou z hlediska obsluhy vrcholu nejčastěji řešeny dva typy úloh. Jedná se o úlohy typu:

- depo – depo,
- depo – skládka.

3.1.1 Formulace úlohy typu depo – depo

Je zadán migraf $G = (V, H, l)$, který má tři atributy. $V = 1, \dots, m$ představuje množinu vrcholů, $H = 1, \dots, n$ představuje množinu hran (orientované a neorientované hrany) a l_{ij} představuje ohodnocení hrany ij , kde $i, j \in V$ v podobě délky pozemní komunikace v metrech. V prvním vrcholu grafu je situováno depo $\{d\}$, kde se zároveň nachází obslužné vozidlo s kapacitou K . Ve vrcholech grafu $j = 2, \dots, m$ jsou situováni zákazníci z_j s požadavky b_j . Cílem úlohy je nalézt takovou trasu, která prochází všemi vrcholy grafu právě jednou s výjimkou počátečního vrcholu $\{d\}$, který je zároveň vrcholem koncovým a která má minimální délku. [19]

3.1.2 Formulace úlohy typu depo – skládka

Je zadán migraf $G = (V, H, l)$, který má tři atributy. $V = 1, \dots, m$ představuje množinu vrcholů, $H = 1, \dots, n$ představuje množinu hran (orientované a neorientované hrany) a l_{ij} představuje ohodnocení hrany ij , kde $i, j \in V$ v podobě délky pozemní komunikace v metrech. V prvním vrcholu grafu je situováno depo $\{d\}$, kde se zároveň nachází obslužné vozidlo s kapacitou K . Ve vrcholech grafu $j = 2, \dots, m - 1$ jsou situováni zákazníci z_j s požadavky b_j . Cílem úlohy je nalézt takovou trasu, která prochází všemi vrcholy grafu právě jednou s výjimkou počátečního vrcholu $\{d\}$, ve kterém trasa započiná, a vrcholu m , ve kterém je situována skládka $\{s\}$ a kde trasa obslužného vozidla končí a která má minimální délku. [24]

3.1.3 Požadovaný formát vstupních dat

Z hlediska vstupních dat, týkajících se reálné dopravní sítě, resp. modelu této sítě – grafu, je pro obě výše uvedené úlohy o obsluze vrcholu nutné disponovat maticí vzdáleností.¹ Pro možnost jejího použití při optimalizačních výpočtech musí matice splňovat tyto podmínky:

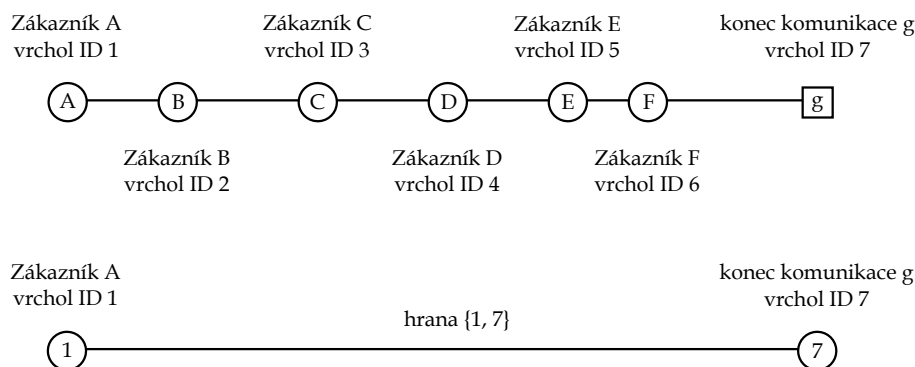
- úplnost,
- symetrie a asymetrie vzdáleností,
- přípustný typ pozemní komunikace.

Úplná matice zachycuje informace o vzdálenostech mezi všemi dvojicemi vrcholů grafu. Za předpokladu, že má graf m vrcholů, pak je počet prvků matice $m \times m$. Nutnou podmínkou je dále zohlednění symetrie a asymetrie vzdáleností, která je způsobena případnou existencí pozemních komunikací různého typu a jednosměrných pozemních komunikací. Vzdálenost v relaci (v_1, v_5) nemusí nutně korespondovat se vzdáleností v relaci (v_5, v_1) . V praxi se ve většině případů jedná o nutnost disponovat kvalitní asymetrickou maticí vzdáleností. Poslední podmínka zohledňuje skutečnost, že všechny vzdálenosti, které matice vzdáleností obsahuje, odpovídají spojením vrcholů, které jsou dostupné s ohledem na přípustný typ pozemní komunikace. V praxi je nutné zohlednit, že jednotlivá obslužná vozidla nemohou vždy používat celou šíři infrastruktury. Příklad matice vzdáleností je uveden v tabulce č. 2.4. Popis postupu vedoucího k získání této matice v reálných podmínkách bude podrobně popsán v Kapitole 5.

¹U úlohy typu depo – skládka je dále nutné matici vzdáleností upravit. Popis této úpravy není předmětem předložené metodiky a je podrobně popsán v [24].

3.2 Obsluha hrany grafu

Úloha zaměřená na obsluhu hran grafu odpovídá reálné situaci, kdy je předmětem obsluhy pozemní komunikace jako celek. V praxi se může jednat o čištění pozemních komunikací, posypové práce, údržbu apod. Kromě těchto úloh je však možné přístup, vycházející z obsluhy hrany, použít v případech, kdy je velký počet požadavků na obsluhu vrcholu situováno v těsné blízkosti hrany. V tomto případě lze obsluhu dílčích požadavků (vrcholů) nahradit obsluhou hrany jako celku. Situace je zachycena na níže uvedeném obrázku č. 3.1



OBRÁZEK 3.1: Zjednodušení spojnice vrcholů A a g ve formě grafu za předpokladu obsluhy hrany.

Zdroj: Vlastní zpracování.

Jedním z teoretických východisek pro řešení úlohy tohoto typu je tzv. úloha čínského listonoše, v odborné literatuře nazývána jako Chinese Postmann Problem (CHPP). V rámci této úlohy je hledán optimální tah, resp. přípustný tah s minimální délkou. V praxi tato situace odpovídá skutečnosti, kdy obslužné vozidlo vyjíždí z depa, právě jednou navštíví každou pozemní komunikaci (každou hranu) a svou jízdu ukončí opět v depu.

V rámci svozně-rozvozních úloh, resp. úloh týkajících se údržby pozemních komunikací, jsou z hlediska obsluhy hrany grafu často řešeny dva typy úloh. Jedná se o úlohy typu:

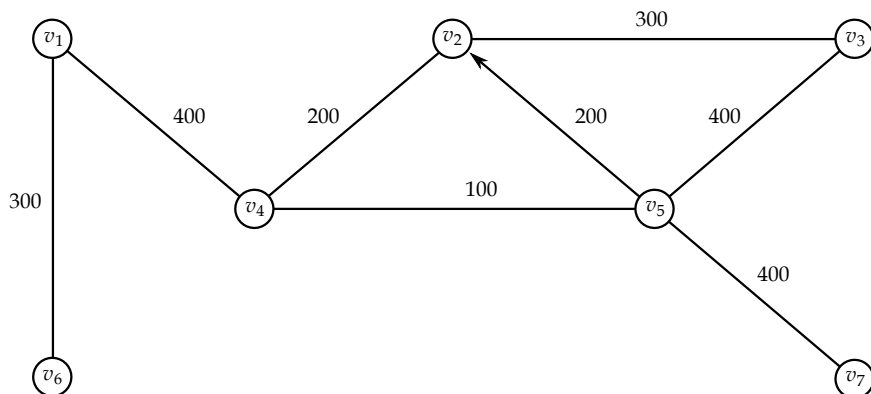
- obsluha izolované množiny hran,
- obsluha vybrané podmnožiny hran.

Při obsluze izolované množiny není uvažováno s poježděním jiných pozemních komunikací než těch, které jsou předmětem obsluhy. Při obsluze vybrané podmnožiny hran je uvažováno s možností využití i pozemních komunikací, které nejsou předmětem obsluhy a které je možné využít pro efektivní přejezdy obslužných vozidel.

3.2.1 Formulace úlohy o obsluze izolované množiny hran

Je zadán migraf $G = (V, H, l)$, který má tři atributy. $V = 1, \dots, m$ představuje množinu vrcholů, $H = 1, \dots, n$ představuje množinu hran (orientované a neorientované hrany) a l_{ij} představuje ohodnocení hrany ij , kde $i, j \in V$ v podobě délky pozemní komunikace v metrech. V prvním vrcholu grafu je situováno depo $\{d\}$, kde se zároveň nachází obslužné vozidlo. Předmětem obsluhy jsou výhradně hrany grafu.

Cílem úlohy je nalézt trasu, která prochází každou hranou alespoň jednou, má minimální délku a začíná a končí v depu $\{d\}$. [17] Příklad migrafu G , tvořeného podgrafy je uveden na obrázku č. 3.2

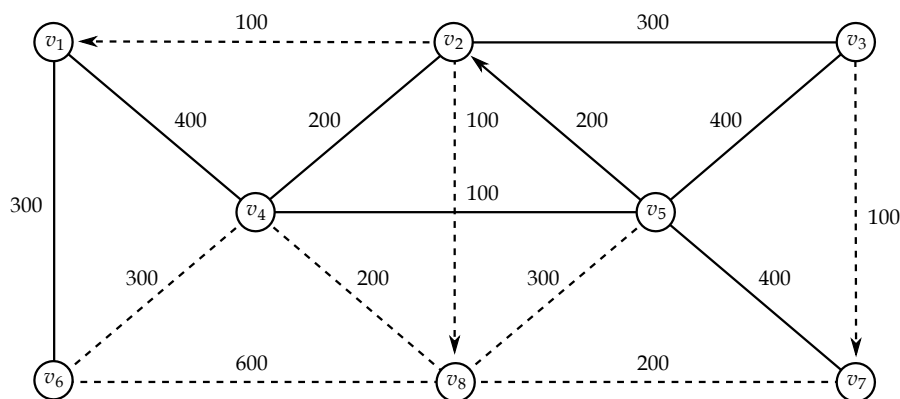


OBRÁZEK 3.2: Diagram migrafu G .

Zdroj: Vlastní zpracování.

3.2.2 Formulace úlohy o obsluze vybrané podmnožiny hran

Je zadán migraf $G = (V, H, l)$, který má tři atributy. $V = 1, \dots, m$ představuje množinu vrcholů, $H = 1, \dots, n$ představuje množinu hran (orientované a neorientované hrany). V prvním vrcholu grafu je situováno depo $\{d\}$, kde se zároveň nachází obslužné vozidlo. Tento graf (migraf) lze rozdělit na dva podgrafy. První podgraf $G_1 = (V_1, H_1, e)$ reprezentuje množinu hran, které je nutné obsloužit. Druhý podgraf $G_2 = (V_2, H_2, f)$ reprezentuje množinu hran, které je možné k obsluze využít. Platí, že $G = G_1 \cup G_2$. Veličina l_{ij} představuje ohodnocení hrany ij , kde $i, j \in V$ v podobě délky pozemní komunikace v metrech, a dále platí, že $e_{ij} \subset l_{ij}$ a $f_{ij} \subset l_{ij}$. Cílem úlohy je nalézt trasu, která prochází alespoň jednou každou hranou podgrafu G_1 s možností využití hran z podsítě G_2 tak, aby celková délka ujeté vzdálenosti byla minimální a trasa začínala a končila v depu $\{d\}$. [18, 21] Příklad migrafu G , tvořeného podgrafy G_1 a G_2 je uveden na obrázku č. 3.3.



OBRÁZEK 3.3: Diagram migrafu G s vyznačením podgrafů G_1 a G_2 .

Zdroj: Vlastní zpracování.

Plnou čarou jsou zvýrazněny hrany podgrafu G_1 , jejichž obsluha je *nutná*. Přerušovanou čarou jsou pak zvýrazněny hrany podgrafu G_2 , jejichž užití pro efektivní přejezdy obslužných vozidel je *možné*.

3.2.3 Požadovaný formát vstupních dat

Z hlediska vstupních dat, týkajících se reálné dopravní sítě, resp. jejího modelu – grafu je pro výše uvedené úlohy o obsluze hrany nutné disponovat maticí ohodnocení hran, resp. souborem těchto matic. Je nutné, aby tyto matice odpovídaly silně souvislému grafu.

Pro úlohu o obsluze izolované množiny hran postačí řádká matice ohodnocení hran s doplněním prohibitivní konstanty T , která „zabraňuje“ užití orientované hrany proti směru její orientace. Prohibitivní konstanta T ve skutečnosti průchodu orientovanou hranou proti směru její orientace nezabraňuje, ale pouze penalizuje její užití. Hodnota T musí tedy odpovídat relativně velkému číslu z množiny $\mathbb{R}^+$, případně ∞ . Postačí však, když hodnota prohibitivní konstanty bude splňovat podmínku:

$$T > \max \left\{ \min_{ij \in \vec{H}} \{d(\mu(v_j, v_i))\} \right\} \quad (3.2)$$

kde $\vec{H}$ je podmnožina orientovaných hran.

Příklad této matice ohodnocení hran, která koresponduje s grafem G uvedeným na obrázku č. 3.2, je uvedena v tabulce č. 3.1.

TABULKA 3.1: Matice ohodnocení hran pro izolovanou množinu hran.

	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7
v_1	-	-	-	400	-	300	-
v_2	-	-	300	200	T	-	-
v_3	-	300	-	-	400	-	-
v_4	400	200	-	-	100	-	-
v_5	-	200	400	100	-	-	400
v_6	300	-	-	-	-	-	-
v_7	-	-	-	-	400	-	-

Zdroj: Vlastní zpracování.

Hodnota prohibitivní konstanty T v matici ohodnocení hran 3.1 musí být s ohledem na vztah 3.2 $T > 300$.

Pro úlohu o obsluze vybrané podmnožiny hran je nutné disponovat dvojicí komplementárních matic ohodnocení hran. Každá matice odpovídá jednomu podgrafu. Průchod hranami proti směru jejich orientace je opět ošetřen prostřednictvím prohibitivní konstanty T , jejíž minimální hodnotu lze analogicky určit s pomocí vztahu 3.2. Příklad dvojice těchto matic ohodnocení hran, které korespondují s grafem G uvedeným na obrázku č. 3.3, je uvedena v tabulce č. 3.2 a v tabulce č. 3.3.

Popis postupu vedoucího k získání těchto výše popsanych matic ohodnocení hran v reálných podmínkách bude podrobně popsán v Kapitole 5.

TABULKA 3.2: Matice ohodnocení „nutných“ hran pro vybranou množinu hran.

	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	v_8
v_1	-	-	-	400	-	300	-	-
v_2	-	-	300	200	T	-	-	-
v_3	-	300	-	-	400	-	-	-
v_4	400	200	-	-	100	-	-	-
v_5	-	200	400	100	-	-	400	-
v_6	300	-	-	-	-	-	-	-
v_7	-	-	-	-	400	-	-	-
v_8	-	-	-	-	-	-	-	-

Zdroj: Vlastní zpracování.

TABULKA 3.3: Matice ohodnocení „možných“ hran pro vybranou množinu hran.

	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	v_8
v_1	-	T	-	-	-	-	-	-
v_2	100	-	-	-	-	-	-	100
v_3	-	-	-	-	-	-	100	-
v_4	-	-	-	-	-	300	-	200
v_5	-	-	-	-	-	-	300	-
v_6	-	-	-	300	-	-	-	600
v_7	-	-	T	-	-	-	-	200
v_8	-	T	-	200	300	600	200	-

Zdroj: Vlastní zpracování.

Kapitola 4

Vstupní data

K tomu, aby bylo možné připravit vstupní data pro optimalizační výpočty ve formátech, které byly popsány v podkapitolách 3.1.3 a 3.2.3, je nutné mít k dispozici dvě množiny dat. Jedná se o:

- disponibilní data,
- podkladová data.

Disponibilní data představují ta data, kterými nejčastěji subjekty zabezpečující obsluhu a údržbu pozemních komunikací (dále jen obslužné subjekty) disponují. Podkladová data jsou pak souhrnným označením pro data týkající se lokalizace uzlů (vrcholů) a data týkající se popisu úseků (hran). V případě lokalizace uzlů se jedná především o data vztažená k jednotlivým adresním místům, v případě popisu úseků se jedná o data vztažená k dopravní infrastruktuře. Obě množiny těchto vstupních dat budou podrobně představeny v této kapitole.

4.1 Disponibilní data

Bez ohledu na to, zda se jedná o obsluhu *hrany* či obsluhu *vrcholu*, vstupní data, kterými obslužné subjekty disponují, lze rozdělit do tří kategorií. Jedná se o:

- poštovní adresy,
- názvy ulic,
- GPS souřadnice.

V praxi nejrozšířenějším typem informace o lokalizaci zákazníků je seznam poštovních adres, případně seznam názvů ulic, které je nutné obsloužit ve formátech **.txt*, **.xls*. Dispozice databází GPS souřadnic je spíše výjimečnou situací. Úplná poštovní adresa, obsahující alespoň název sídelního útvaru, číslo popisné, číslo evidenční, případně další argumenty adresy, poskytuje dostatečnou informaci pro jednoznačnou lokalizaci konkrétního zákazníka. Nezřídka je však tato informace zatížena vstupními chybami¹, které je nutné odstranit. Nejčastěji se jedná o:

- verbální syntaktické chyby,
- chybějící argument(y) adresy.

Pro provedení jednoznačné lokalizace je nutné opravit názvy ulic, obcí či jejich částí tak, aby byly v souladu s databází RÚIAN. Jedná se především o eliminaci nadbytečných textů, zkratk, překlepů a dalších problémů. Tento typ problémů lze

¹Jedná se o chyby, které jsou způsobeny nekvalitním zaznamenáváním na straně jednotlivých obslužných subjektů.

efektivně odstranit i strojově, například s využitím programu MS Excel. Pokud se jedná o chybějící argument adresy, je zde nutný ruční zásah ze strany obslužného subjektu, doplnění chybějícího údaje, případně nahrazení celé této adresy GPS souřadnicemi získanými měřením přímo v terénu.

Ve chvíli, kdy jsou k dispozici vstupní data, ve kterých byly opraveny vstupní chyby, je možné přistoupit k jejich zpracování.

4.2 Podkladová data – lokalizace uzlů

V první řadě bude pozornost věnována podkladovým datům vztaženým k lokalizaci uzlů dopravní sítě, resp. k adresním místům.

Určení přesné polohy objektů (uzlů) na základě adresních informací je realizováno prostřednictvím procesu geokódování. Jedná se o nepřímé georeferencování, kdy je poloha objektů a jevů určována prostřednictvím geokódů (např. adresy) a nikoliv na základě souřadnicových systémů, neboť GPS souřadnice nemusí být a v praxi často nejsou k dispozici. [13] Pro geokódování adresy je možné využít vícero nástrojů. Jedná se například o online nástroj ArcGIS Online od společnosti ESRI, který umožňuje import disponibilních dat ve formátu **.txt*. Jeho nevýhodou je především omezení velikosti vstupního souboru (maximálně 1000 adres). ArcGIS Online je však komerčním nástrojem a jeho využívání je spojeno s nutností zakoupení licence. Možnou alternativou tohoto řešení je online nástroj Google Awesome Tables od společnosti Google, který je poskytován zdarma. Mezi jeho hlavní nevýhody však opět patří omezení velikosti vstupního souboru (maximálně 1000 adres/den) a dále relativní nepřesnost v lokalizaci objektů. Další možností, jak realizovat proces geokódování adres je využití vyhledávací služby Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního RÚIAN. Toto řešení se jeví jako optimální.

Registr územní identifikace, adres a nemovitostí

Zdrojová data registru územní identifikace, adres a nemovitostí RÚIAN jsou denně aktualizována pomocí aplikace Veřejný dálkový přístup k RÚIAN, služba je poskytována zdarma a nejsou nastaveny limity pro počty vstupujících adres. Každé datum databáze RÚIAN obsahuje popisné a lokalizační údaje. Lokalizačními údaji jsou hranice, definiční čára a definiční bod. Podle zákona o základních registrech č. 111/2009 Sb. se územní prvky z databáze RÚIAN zobrazují nad mapami státního mapového díla, nebo nad digitální mapou veřejné správy, která je vytvořena propojením katastrální mapy, ortofotomapy, popřípadě technické mapy obce. Lokalizační a popisné údaje jednotlivých adresních míst je pak možné využít k samotnému geokódování adres. [8, 36, 38] Podkladová data, resp. výřez atributové tabulky z databáze RÚIAN, je uveden na obrázku č. 4.1.

4.3 Podkladová data – dopravní infrastruktura

Druhou podmnožinou podkladových dat jsou data týkající se dopravní infrastruktury. Stejně jako v případě dat týkajících se lokalizace uzlů i zde se nabízí více variant řešení.

FID	Shape	gmi_id	Kod	Nespravny	CisloDomov	CisloOrien	CisloOri	Psc	StavebniOb	UliceKod	PlatiOd	PlatiDo	IdT
0	Point	AD 73580121	73580121		242	0		73991	79578861	0	2015-04-10T00:00:00		
1	Point	AD 20461003	20461003		142	0		73991	20224893	0	2014-04-04T00:00:00		
2	Point	AD 20461097	20461097		151	0		73991	20224892	0	2013-11-29T00:00:00		
3	Point	AD 20461151	20461151		157	0		73991	20225041	0	2013-11-29T00:00:00		
4	Point	AD 20461241	20461241		166	0		73991	20225130	0	2014-11-11T00:00:00		
5	Point	AD 28147499	28147499		209	0		73991	27609006	0	2013-11-29T00:00:00		
6	Point	AD 25524313	25524313		216	0		73991	25048020	0	2013-11-29T00:00:00		
7	Point	AD 72590858	72590858		235	0		73991	77960742	0	2014-04-22T00:00:00		
8	Point	AD 72349891	72349891		233	0		73991	77732928	0	2018-10-12T00:00:00		
9	Point	AD 72349399	72349399		232	0		73991	77731581	0	2014-03-07T00:00:00		
10	Point	AD 80344861	80344861		262	0		73991	100190251	0	2020-02-05T00:00:00		
11	Point	AD 42597871	42597871		226	0		73991	54462576	0	2013-11-29T00:00:00		
12	Point	AD 72114517	72114517		231	0		73991	77551401	0	2014-02-19T00:00:00		
13	Point	AD 25524283	25524283		85	0		73991	25048996	0	2013-11-29T00:00:00		
14	Point	AD 20459742	20459742		15	0		73991	20223633	0	2013-11-29T00:00:00		
15	Point	AD 20460562	20460562		98	0		73991	20224451	0	2013-11-29T00:00:00		
16	Point	AD 20460333	20460333		74	0		73991	20224222	0	2013-11-29T00:00:00		
17	Point	AD 20461054	20461054		147	0		73991	20224940	0	2013-11-29T00:00:00		
18	Point	AD 20461046	20461046		146	0		73991	20224931	0	2013-11-29T00:00:00		
19	Point	AD 20461453	20461453		187	0		73991	20225342	0	2013-11-29T00:00:00		
20	Point	AD 20461429	20461429		184	0		73991	20225318	0	2013-11-29T00:00:00		
21	Point	AD 20459726	20459726		13	0		73991	20223617	0	2013-11-29T00:00:00		
22	Point	AD 20459807	20459807		21	0		73991	20223692	0	2013-11-29T00:00:00		
23	Point	AD 20459892	20459892		29	0		73991	20223773	0	2013-11-29T00:00:00		
24	Point	AD 20460295	20460295		70	0		73991	20224184	0	2013-11-29T00:00:00		
25	Point	AD 20461275	20461275		169	0		73991	20225164	0	2013-11-29T00:00:00		
26	Point	AD 20461321	20461321		174	0		73991	20225211	0	2013-11-29T00:00:00		
27	Point	AD 20460830	20460830		125	0		73991	20224729	0	2013-11-29T00:00:00		
28	Point	AD 20460503	20460503		92	0		73991	20224397	0	2013-11-29T00:00:00		
29	Point	AD 20460694	20460694		111	0		73991	20224583	0	2013-11-29T00:00:00		

OBRÁZEK 4.1: Příklad atributové tabulky z databáze RUIAN.

Zdroj: Vlastní zpracování.

4.3.1 StreetNet

První ze dvou variant, které budou v této metodice představeny je geodatabáze StreetNet (SN) poskytovaná společností CEDA. Databáze je tvořena 15 datovými vrstvami, přičemž každá datová vrstva je dále charakterizována desítkami dílčích atributů. Nejdůležitější datovou vrstvou je kompletní silniční síť České republiky a Slovenska, která je rozčleněna do 26 kategorií (dálnice, silnice pro motorová vozidla, vjezd, výjezd, nadjezd, parkoviště apod.). [4] Klíčovými atributy pro realizaci přípravy vstupních dat jsou především atributy „*TYP KOMUNIKACE*“ a „*SMĚR DOPRAVNÍHO PROVOZU*“, které plně korespondují s teoretickými požadavky popsanými v podkapitole 2.1.

Podkladová data StreetNet lze doplnit dalšími 10 nadstavbami, které jsou věnovány dílčím specifikům. Jedná se například o navigační informace, reprezentace adres, plány měst, dopravní informace, vrstvy budov a další. Některé nadstavby mohou být užitečné, především z hlediska následných síťových analýz. Jedná se především o nadstavby StreetNet NAV a StreetNet ADR link.

StreetNet NAV

Tato nadstavba navigačních informací rozšiřuje základní databázi StreetNet a je tvořena 9 dílčími nadstavbami. Obsahem tohoto rozšíření jsou především informace o zákazech odbočení, informace o omezeních vjezdu jak podle typů vozidel, tak podle rozměrů a hmotnosti. Dále pak informace o maximálních povolených rychlostech v daných úsecích a informace o jízdních pruzích.

StreetNet ADR link

Dalším rozšířením základní databáze StreetNet je nadstavba StreetNet ADR link, která umožňuje vazbu mezi daty RUIAN a sítí pozemních komunikací. Vazba je realizována na základě přiřazení vybraného úseku komunikace konkrétní adrese.

V rámci tohoto procesu přiřazení je zohledňována nejen minimální vzdálenost, ale též shodnost názvu ulice.

4.3.2 OpenStreetMap

Druhou alternativou podkladových dat, vztažených k dopravní infrastruktuře je geo-databáze OpenStreetMap (OSM). Jedná se o tzv. open projekt, jehož cílem je tvorba volně dostupných geografických dat a jejich vizualizace do podoby topografických map. Pro tvorbu geodat je využíváno záznamů z GPS přijímačů, případně jiných zpravidla digitalizovaných map na stejné licenční bázi.

Pro účely této metodiky je nejdůležitějším podkladem vrstva silniční sítě „ROADS“, ve které lze následně realizovat jednotlivé síťové analýzy. Tato vrstva obsahuje všechny druhy pozemních komunikací a lze ji blíže charakterizovat prostřednictvím několika atributů. Nejvýznamnější jsou atributy „CODE“, „ONEWAY“, „REF“, „MAXSPEED“, „TUNEL“ a „BRIDGE“. Atribut „CODE“ nese informaci o typech pozemních komunikací, které se dělí do 6 skupin:

- dálnice, rychlostní komunikace a komunikace I., II. a III. třídy,
- komunikace lokálního významu, komunikace v zástavbě a pěší zóny,
- sjezdy z hlavních komunikací,
- lesní a polní cesty, příjezdy k domům, průjezdy průmyslovými areály,
- chodníky, pěšiny, cyklostezky,
- nespecifikované komunikace.

Velmi důležitým atributem je rovněž „ONEWAY“, který informuje o možnostech poježdění jednotlivých komunikací v příslušných směrech. Zbývající atributy mají popisný charakter a podávají informaci o názvech ulic a označení pozemních komunikací, maximálních povolených rychlostech, případně o existenci mostů a tunelů.

4.3.3 Porovnání podkladových dat

Obě výše uvedené podmnožiny podkladových dat je možné použít pro realizaci síťových analýz vedoucích k získání vstupních dat pro potřeby optimalizace. Zatímco podkladová data StreetNet společnosti CEDA jsou připravena k bezprostřednímu použití v libovolném geoinformačním software, u podkladových dat OpenStreetMap je nutné provést úpravy.

4.3.4 Úprava podkladových dat OSM

Jak již bylo výše uvedeno, před samotným využitím podkladových dat OpenStreetMap je nutné provést nezbytné úpravy. Tyto úpravy lze shrnout do tří kategorií:

- výběr podmnožin pozemních komunikací,
- kontrola průjezdnosti úseků,
- kontrola topologie dopravní sítě.

Výběr podmnožin pozemních komunikací

Podkladová data OSM ve formátu *Shapefile*, který je čitelný všemi běžnými geoinformačními programovými produkty, lze získat z uložště zabezpečeného německou společností Geofabrik GmbH [9]. Data pro Českou republiku jsou dostupná v dílčím adresáři. Tato data pokrývají území celé České republiky a jsou v nich obsaženy všechny tematické vrstvy OSM v souřadnicovém systému WGS 84.

Prvotním krokem pro práci s těmito daty je výběr vrstev potřebných pro síťové analýzy, konkrétně se jedná o vrstvu s názvem „ROADS“. Tuto operaci je možné realizovat s využitím již výše popsaného atributu „CODE“, který jednotlivé pozemní komunikace kategorizuje. Je tedy nutné odstranit kategori 5142 až 5155, které označují chodníky, cyklostezky, příp. polní a lesní cesty. Pro získání kvalitního datového podkladu je pro zvolené území nezbytné zkontrolovat jednotlivé eventuality a opět jednotlivě rozhodnout o jejich ponechání či odstranění.

Vzhledem k tomu, že původní datová sada je pro celou Českou republiku, je vhodné si před vytvořením síťového modelu vytvořit novou silniční vrstvu pouze se zájmovým územím. Toto lze provést prostřednictvím prostorového dotazu, kdy je vybrána administrativní jednotka zvoleného území (kraj – okres – obec) a pomocí funkce „Intersect“ jsou následně vybrány všechny pozemní komunikace spadající do daného území.

Kontrola průjezdnosti úseků

V druhém kroku je nutné zkontrolovat, případně upravit, průjezdnost pozemních komunikací, a to s využitím atributu „ONEWAY“. Podkladová data OpenStreetMap v tomto ohledu rozlišují tři druhy průjezdnosti úseků:

- ve směru digitalizace „F“,
- proti směru digitalizace „T“,
- v obou směrech „B“,

zatímco programová řešení ArcGIS, která umožňují následné síťové analýzy rozlišují pouze dva druhy průjezdnosti úseků:

- ve směru digitalizace „FT“,
- proti směru digitalizace „TF“.

Tuto drobnou, přesto významnou disproporci je taktéž nutné odstranit.

Kontrola topologie dopravní sítě

Posledním krokem vedoucím k dokončení úpravy podkladových dat OpenStreetMap je kontrola topologie dopravní sítě, kterou lze realizovat například s využitím nástrojové sady *Topology toolset* v aplikaci ArcMap nebo s využitím aplikace ArcCatalog.

Kapitola 5

Příprava vstupních dat s využitím GIS

V Kapitole 3 byly podrobně popsány základní dva typy úloh, které jsou nejčastěji řešeny v rámci návrhu tras obslužných vozidel zabezpečující obsluhu a údržbu dopravní sítě. Zároveň byly uvedeny teoretické požadavky na vstupní data, která jsou pro realizaci optimalizačních výpočtů nezbytná. V Kapitole 4 pak byla představena a popsána nezbytná vstupní data. V této kapitole bude pozornost věnována detailnímu popisu přípravy dat pro optimalizační výpočty s využitím geoinformačních systémů, a to jak pro úlohu o obsluze vrcholu, tak pro úlohu o obsluze hrany. Celý postup bude vždy ilustrován na výběru¹ z reálných dat. Veškeré zde popisované úpravy byly realizovány v nástroji ArcGIS a jeho aplikacích. Všechny tyto akce jsou však obecně převoditelné do libovolného geoinformačního softwarového nástroje.

5.1 Příprava dat pro optimalizaci – obsluha vrcholu

Disponibilní data pro úlohu o obsluze vrcholu, formulovanou v podkapitole 3.1, očištěná od vstupních chyb jsou uvedena v tabulce č. 5.1. Jedná se o výběr z konkrétní úlohy z oblasti obce Písečná v Moravskoslezském kraji.

TABULKA 5.1: Disponibilní data – Písečná.

Obec	Číslo popisné
Písečná	175
Písečná	181
Písečná	45
Písečná	138
Písečná	161
Písečná	55
Písečná	65
Písečná	185
Písečná	115

Zdroj: Vlastní zpracování.

¹Výběr je realizován s ohledem na možnost prezentace úplných dílčích tabulek a matic.

5.1.1 Tvorba vektorové bodové vrstvy

Prvním krokem v procesu přípravy vstupních dat je vytvoření vektorové bodové vrstvy s adresními místy. Způsob přípravy závisí na datech, kterými disponuje obslužný subjekt. Za předpokladu, že je k dispozici pouze úplná poštovní adresa (jako je tomu nejčastěji, a taktéž je tomu tak v tomto vzorovém příkladu), je k tvorbě vektorové bodové vrstvy nutné využít proces geokódování. Za předpokladu, že jsou k dispozici GPS souřadnice, je možné vektorovou bodovou vrstvu vytvořit přímo v GIS. Oba postupy budou níže popsány.

Geokódování dat s využitím databáze RÚIAN

Vstupní data uvedená v tabulce 5.1 je nutné dále strukturovat do několika sloupců. Stěžejními údaji jsou název obce „OBEC“, v případě měst název ulice „ULICE“ a číslo popisné „CP“. Prostřednictvím těchto kategorií je realizováno propojení s podkladovými daty z databáze RÚIAN (viz podkapitola 4.2). Název okresu „OKRES“ je nutný pro stažení odpovídajících dat z databáze RÚIAN, jelikož se v České republice nachází více obcí se stejným pojmenováním.² Takto připravená vstupní data jsou uložena ve vhodném formátu *.xls, *.csv. Příklad této úpravy je uveden v tabulce č. 5.2.

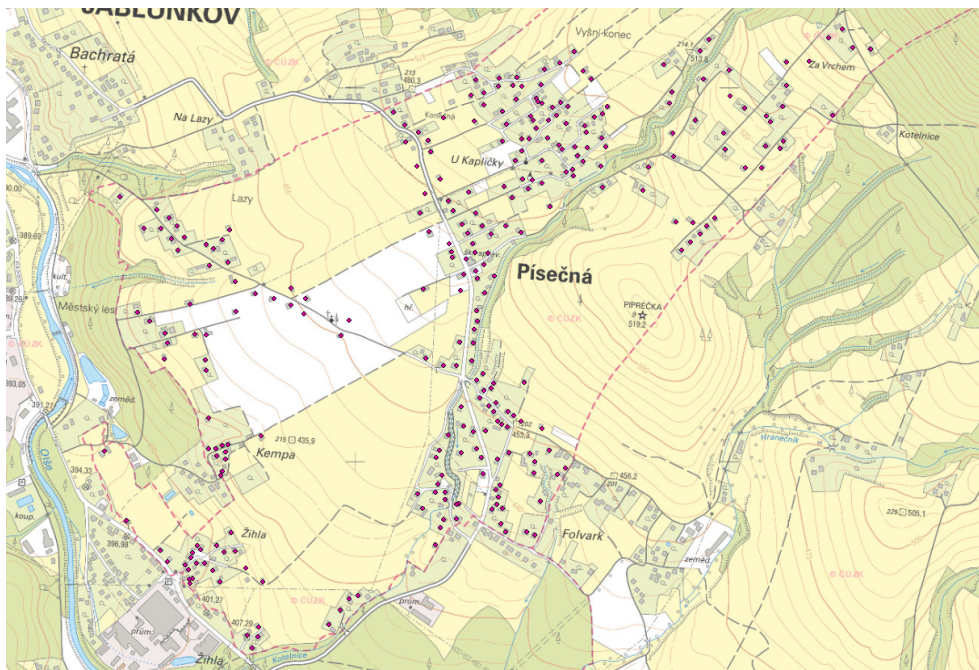
TABULKA 5.2: Strukturovaná vstupní data – Písečná.

ID	OBEC	ULICE	CP	OKRES
1	Písečná	-	175	Frýdek-Místek
2	Písečná	-	181	Frýdek-Místek
3	Písečná	-	45	Frýdek-Místek
4	Písečná	-	138	Frýdek-Místek
5	Písečná	-	161	Frýdek-Místek
6	Písečná	-	55	Frýdek-Místek
7	Písečná	-	65	Frýdek-Místek
8	Písečná	-	185	Frýdek-Místek
9	Písečná	-	115	Frýdek-Místek

Zdroj: Vlastní zpracování.

Propojení strukturované tabulky ve formátu *.xls, resp. *.csv a podkladových dat z databáze RÚIAN je realizováno prostřednictvím GIS s využitím funkce „Join“, ve které je potřeba definovat sloupce, mezi kterými proběhne propojení. Výstupem této akce je vektorová bodová vrstva s adresními místy, jejíž náhled je zachycen na obrázku č. 5.1.

²Například název *Písečná* figuruje jako obec, oblast, příp. ulice hned v několika okresech České republiky (Frýdek-Místek, Ústí nad Orlicí, Česká Lípa a další).



OBRÁZEK 5.1: Vektorová bodová vrstva s adresními místy – Písečná.

Zdroj: Vlastní zpracování.

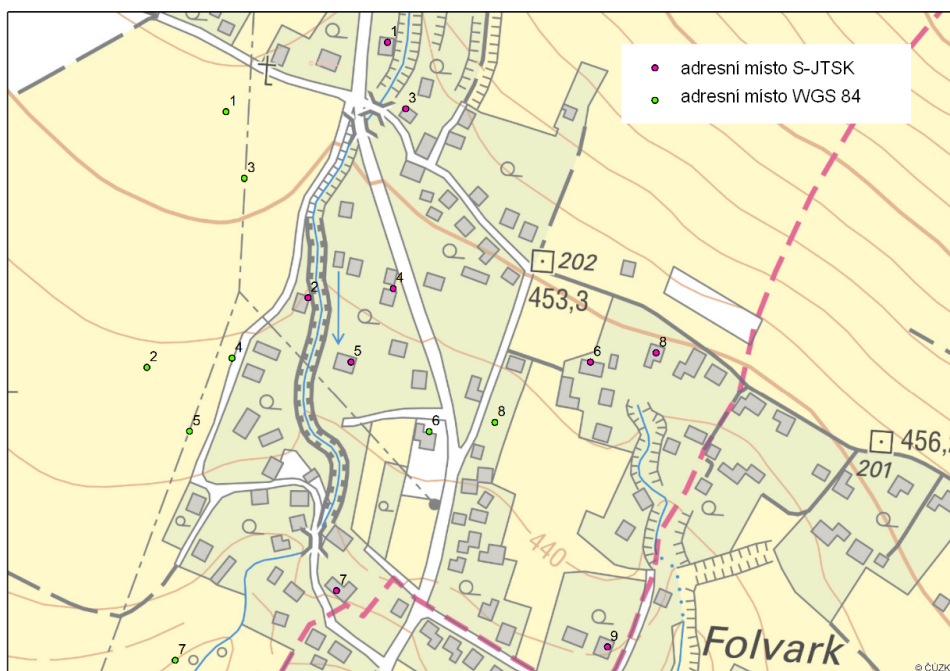
Tvorba vektorové bodové vrstvy z lokalizovaných dat

V případě, že jsou k dispozici data i s lokalizačními údaji (zeměpisná délka a zeměpisná šířka, popř. jiné souřadnice), je možné rovněž z těchto dat vytvořit vektorovou bodovou vrstvu. Jednotlivé lokalizační údaje ve formátu *.xls, resp *.csv je nutné zpracovat v GIS prostřednictvím funkce „Display XY data“. V rámci této operace je potřeba identifikovat sloupce obsahující jednotlivé souřadnice a zvolit odpovídající souřadnicový systém.³

5.1.2 Transformace mezi souřadnicovými systémy

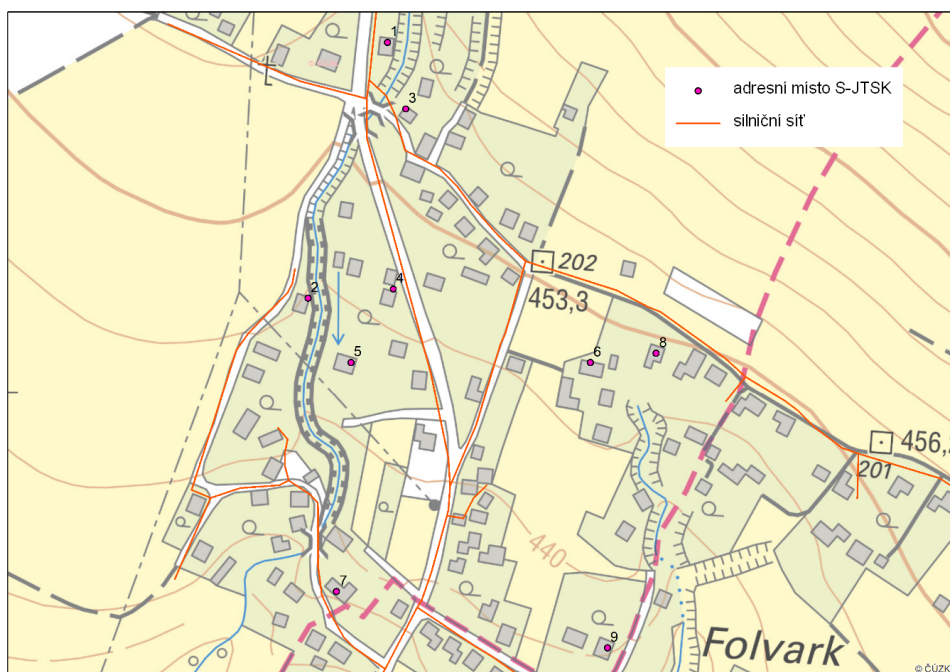
Vzhledem ke skutečnosti, že veškeré síťové analýzy jsou realizovány v souřadnicovém systému S-JTSK, ve kterém jsou rovněž všechna podkladová data týkající se dopravní infrastruktury, je nutné, aby i vektorová bodová vrstva byla v tomto systému. V případě, že tomu tak není, je nutné bodovou vrstvu transformovat. K tomuto účelu slouží v GIS funkce „Project“. Posun v souřadnicích v systémech S-JTSK a WGS 84 po transformaci je názorně vidět na obrázku č. 5.2.

³Pokud jsou zdrojové souřadnice uvedeny v systému WGS 84, je nutné tento systém zvolit.



OBRÁZEK 5.2: Posun v souřadnicích v systémech S-JTSK a WGS 84 po transformaci.

Zdroj: Vlastní zpracování.



OBRÁZEK 5.3: Vizualizace dopravní infrastruktury podkladových dat StreetNet.

Zdroj: Vlastní zpracování.

5.1.3 Výpočet matice vzdáleností

Jak bylo podrobně popsáno v Kapitole 4, kromě disponibilních dat od obslužných subjektů a podkladových dat týkajících se lokalizace uzlů, je nutné mít k dispozici rovněž podkladová data týkající se dopravní infrastruktury. V tomto vzorovém příkladu je využito podkladových dat StreetNet. Ukázka vizualizace dopravní infrastruktury těchto podkladových dat je uvedena na obrázku č. 5.3.

K realizaci síťových analýz je možné využít například aplikaci ArcMap. K výpočtu matice vzdáleností je v tomto programu k dispozici funkce „New OD Cost Matrix“. V rámci samotné funkce je potřeba definovat tzv. zdroje (origins) a cíle (destinations), v tomto případě všechny body z vektorové bodové vrstvy adresních míst. V rámci nastavení této funkce lze rovněž ovlivnit parametry vstupující silniční sítě (použité typy pozemních komunikací, jejich průjezdnost) přesně ve shodě s teoretickými požadavky definovanými v podkapitole 3.1.3. Výsledkem této analýzy je tabulka obsahující informace o vzdálenostech mezi zdrojovými a cílovými adresními místy, kterou lze snadno zobrazit v maticovém i tabulkovém tvaru. Příklad matice vzdáleností v maticovém tvaru je uveden v tabulce č. 5.3. Tabulkový zápis matice vzdáleností (OD 1 – OD 9) je pak uveden v tabulkách č. 5.4 – č. 5.12.

Je nutné zdůraznit, že v kroku výpočtu matice vzdáleností je integrován přesun od reálné dopravní sítě k náhradní dopravní síti – grafu, ve které je následně realizován samotný optimalizační výpočet. V tomto kroku je tedy redukována detailní rozlišovací úroveň reálné dopravní sítě na úroveň náhradní dopravní sítě, jak bylo podrobněji popsáno v podkapitole 2.2. Všechna dílčí dělení úseku spojující dva uzly jsou nahrazena jedinou hranou spojující dva vrcholy. Po realizaci optimalizačního výpočtu však lze opět každou hranu spojující příslušné vrcholy transformovat do podoby úseku reálné dopravní sítě se všemi dílčími děleními, která byla dříve zanechána.

TABULKA 5.3: Matice vzdáleností.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	933,14	63,73	192,73	238,66	302,64	576,72	348,05	602,64
2	933,14	0	921,79	740,41	694,47	846,90	356,42	892,31	638,30
3	63,73	921,79	0	195,68	241,62	238,91	565,37	284,32	591,29
4	192,73	740,41	195,68	0	45,94	423,32	384,00	468,73	409,91
5	238,66	694,47	241,62	45,94	0	377,38	338,06	422,79	363,98
6	302,64	846,90	238,91	423,32	377,38	0	490,49	45,41	516,40
7	576,72	356,42	565,37	384,00	338,06	490,49	0	535,90	281,89
8	348,05	892,31	284,32	468,73	422,79	45,41	535,90	0	561,81
9	602,64	638,30	591,29	409,91	363,98	516,40	281,89	561,81	0

Zdroj: Vlastní zpracování.

TABULKA 5.4: OD 1.

R	NAME	O	D	TL
1	1 - 1	1	1	0
2	1 - 2	1	2	933,14
3	1 - 3	1	3	63,73
4	1 - 4	1	4	192,73
5	1 - 5	1	5	238,66
6	1 - 6	1	6	302,64
7	1 - 7	1	7	576,72
8	1 - 8	1	8	348,05
9	1 - 9	1	9	602,64

TABULKA 5.5: OD 2.

R	NAME	O	D	TL
10	2 - 1	2	1	933,14
11	2 - 2	2	2	0
12	2 - 3	2	3	921,79
13	2 - 4	2	4	740,41
14	2 - 5	2	5	694,47
15	2 - 6	2	6	846,90
16	2 - 7	2	7	356,42
17	2 - 8	2	8	892,31
18	2 - 9	2	9	638,30

TABULKA 5.6: OD 3.

R	NAME	O	D	TL
19	3 - 1	3	1	63,73
20	3 - 2	3	2	921,79
21	3 - 3	3	3	0
22	3 - 4	3	4	195,68
23	3 - 5	3	5	241,62
24	3 - 6	3	6	238,91
25	3 - 7	3	7	565,37
26	3 - 8	3	8	284,32
27	3 - 9	3	9	591,29

TABULKA 5.7: OD 4.

R	NAME	O	D	TL
28	4 - 1	4	1	192,73
29	4 - 2	4	2	740,41
30	4 - 3	4	3	195,68
31	4 - 4	4	4	0
32	4 - 5	4	5	45,94
33	4 - 6	4	6	423,32
34	4 - 7	4	7	384,00
35	4 - 8	4	8	468,73
36	4 - 9	4	9	409,91

TABULKA 5.8: OD 5.

R	NAME	O	D	TL
37	5 - 1	5	1	238,66
38	5 - 2	5	2	694,47
39	5 - 3	5	3	241,62
40	5 - 4	5	4	45,94
41	5 - 5	5	5	0
42	5 - 6	5	6	377,38
43	5 - 7	5	7	338,06
44	5 - 8	5	8	422,79
45	5 - 9	5	9	363,98

TABULKA 5.9: OD 6.

R	NAME	O	D	TL
46	6 - 1	6	1	302,64
47	6 - 2	6	2	846,90
48	6 - 3	6	3	238,91
49	6 - 4	6	4	423,32
50	6 - 5	6	5	377,38
51	6 - 6	6	6	0
52	6 - 7	6	7	490,49
53	6 - 8	6	8	45,41
54	6 - 9	6	9	516,40

TABULKA 5.10: OD 7.

R	NAME	O	D	TL
55	7 - 1	7	1	576,72
56	7 - 2	7	2	356,42
57	7 - 3	7	3	565,37
58	7 - 4	7	4	384,00
59	7 - 5	7	5	338,06
60	7 - 6	7	6	490,49
61	7 - 7	7	7	0
62	7 - 8	7	8	535,90
63	7 - 9	7	9	281,89

TABULKA 5.11: OD 8.

R	NAME	O	D	TL
64	8 - 1	8	1	348,05
65	8 - 2	8	2	892,31
66	8 - 3	8	3	284,32
67	8 - 4	8	4	468,73
68	8 - 5	8	5	422,79
69	8 - 6	8	6	45,41
70	8 - 7	8	7	535,90
71	8 - 8	8	8	0
72	8 - 9	8	9	561,81

TABULKA 5.12: OD 9.

R	NAME	O	D	TL
73	9 - 1	9	1	602,64
74	9 - 2	9	2	638,30
75	9 - 3	9	3	591,29
76	9 - 4	9	4	409,91
77	9 - 5	9	5	363,98
78	9 - 6	9	6	516,40
79	9 - 7	9	7	281,89
80	9 - 8	9	8	561,81
81	9 - 9	9	9	0

Zdroj: Vlastní zpracování.

Názvy sloupců v tabulkovém zpracování matice vzdáleností mají následující význam. Označení „R“ (row) představuje název řádku, „NAME“ pak představuje pojmenování relace mezi jednotlivými vrcholy. Symbol „O“ označuje zdroje (origins), symbol „D“ pak označuje cíle (destinations). Poslední symbol „TL“ (total length) označuje samotnou vzdálenost měřenou v metrech.

5.2 Příprava dat pro optimalizaci – obsluha izolované množiny hran

Disponibilní data pro úlohu o obsluze izolované množiny hran, formulovanou v podkapitole 3.2.1, očištěná od vstupních chyb jsou uvedena v tabulce č. 5.13. Jedná se o výběr z konkrétní úlohy z oblasti města Olomouce v Olomouckém kraji.

5.2.1 Tvorba izolované dopravní sítě

Z názvů ulic, uvedených v tabulce č. 5.13, je v první řadě nutné vytvořit reálnou dopravní síť (izolovanou síť) tvořenou jejími základními stavebními prvky, uzly a úseky. K tvorbě reálné dopravní sítě je nutné použít podkladová data, týkající se dopravní infrastruktury, která mimo jiné obsahují databázi jednotlivých ulic v příslušných územních jednotkách, resp. okresech a obcích. Podkladová data StreetNet

TABULKA 5.13: Disponibilní data – Olomouc.

Město	Ulice
Olomouc	Farského
Olomouc	Geislerova
Olomouc	Hodolanská
Olomouc	Jiráskova
Olomouc	Klimeckého
Olomouc	Purkyňova
Olomouc	Smrčková
Olomouc	Starého
Olomouc	Šafaříkova

Zdroj: Vlastní zpracování.

zaznamenávají tuto informaci prostřednictvím atributu „ON“. Tuto sestavu lze vytvořit prostřednictvím atributového dotazu např. v tomto tvaru:

```
SELECT * FROM Silnicni_sit WHERE ON IN('Farského', ..., 'Šafaříkova')
```

Vzhledem ke skutečnosti, že v rámci jedné územní jednotky může existovat více ulic se shodným názvem, je nutné provést vizuální kontrolu této sestavy a korigovat případné nesrovnalosti.

Jak již bylo uvedeno v podkapitole 3.2.3, jedním ze základních požadavků na formát vstupních dat pro optimalizační výpočty je, aby matice ohodnocení hran odpovídala silně souvislé síti, resp. silně souvislému grafu. V tomto kroku lze vizuálně zkontrolovat, zda vybraná sestava nevykazuje zjevné nesouvislosti. Detailní kontrolu souvislosti je pak možné realizovat např. s využitím Tarryho algoritmu. [29] Sestava reálné dopravní sítě je pak realizována prostřednictvím atributového dotazu pro výběr prvků, jejichž atribut odpovídá vybraným názvům ulic.⁴ Vizualizace sestavy izolované dopravní sítě je uvedena na obrázku č. 5.4. Izolovaná dopravní síť je vyznačena tmavou barvou.

5.2.2 Tvorba náhradní dopravní sítě

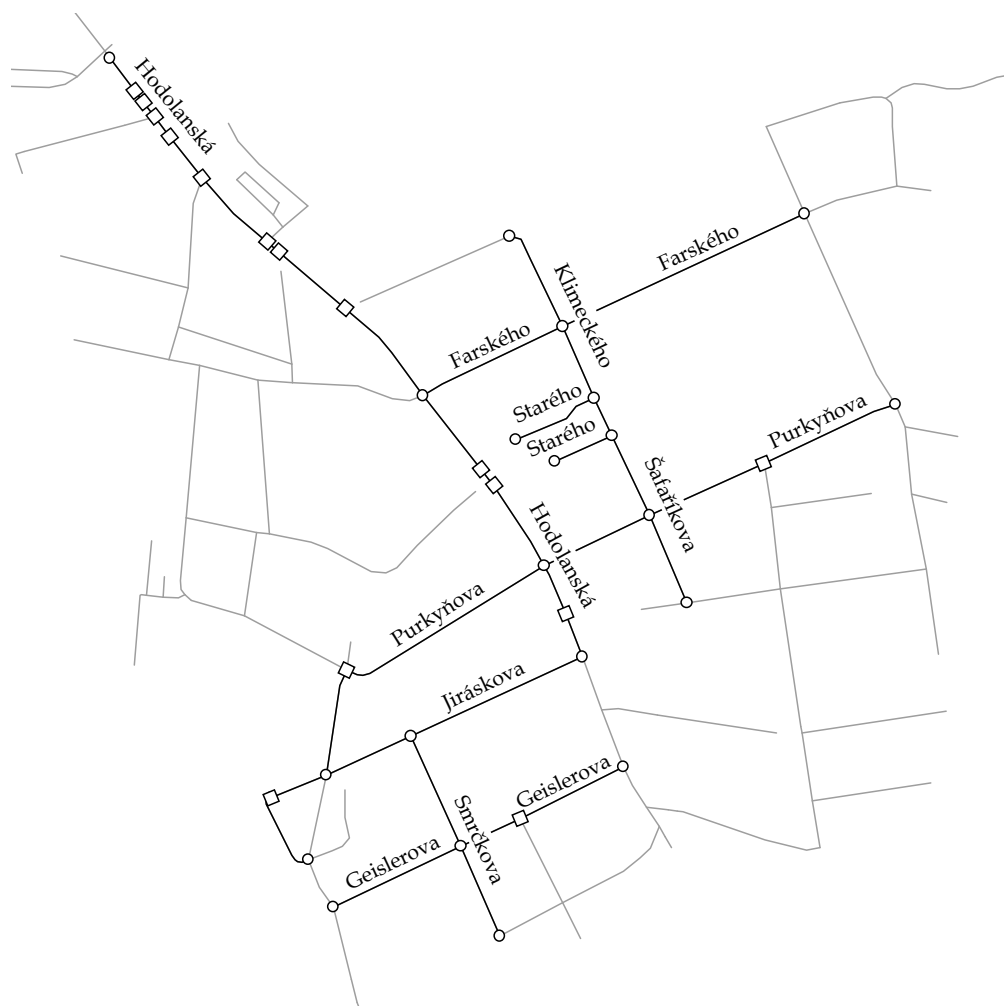
Izolovaná dopravní síť z obrázku č. 5.4 je tvořena množinou 36 uzlů (kruhy a čtverce) a množinou 37 úseků. Uzly označené čtverci představují dílčí dělení úseků a za předpokladu obsluhy izolované množiny hran je možné je zanedbat. Tuto úpravu lze chápat jako přesun od reálné dopravní sítě k náhradní dopravní síti – grafu⁵. Zjednodušená izolovaná síť je pak tvořena 21 vrcholy a 22 hranami. Toto zjednodušení je zachyceno na obrázku č. 5.5.

5.2.3 Výpočet matice ohodnocení hran

Výpočet matice ohodnocení hran je realizován modifikací výpočtu matice vzdáleností, kdy jsou zohledňovány pouze vzájemně incidentní vrcholy. Aby byl tento

⁴V tomto kroku je již apriori předpokládáno, že vybrané ulice je možné pojet uvažovaným typem obslužného vozidla.

⁵Reálná dopravní síť (uzly a úseky) – náhradní dopravní síť (vrcholy, hrany).



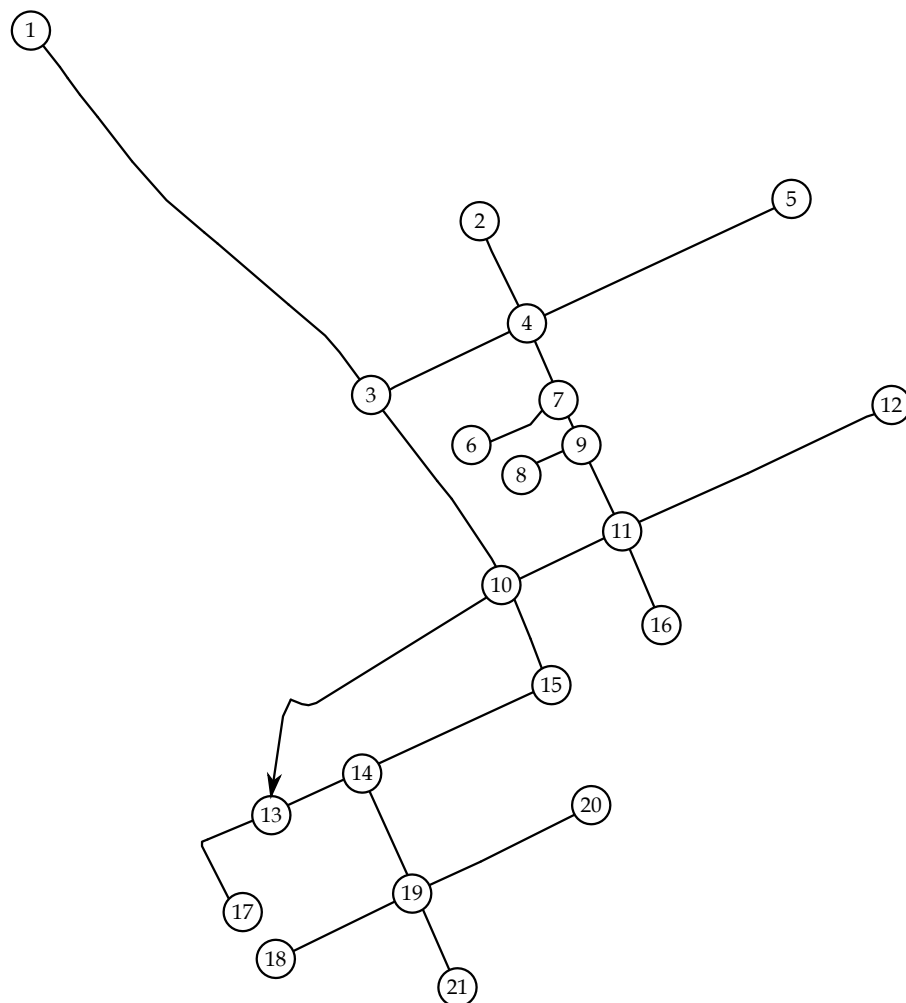
OBRÁZEK 5.4: Izolovaná, resp. vybraná dopravní síť.

Zdroj: Vlastní zpracování.

proces možný, je nutné přidat do atributové tabulky izolované dopravní sítě nový atribut „AKUMULACE“, ve kterém budou akumulovány náklady, resp. počty průchodů přes jednotlivé vrcholy. Tento nákladový atribut je datového typu *Double* a je nutné, aby byla jeho hodnota rovna 1 pro všechny hrany izolované dopravní sítě. Nad takto připravenou sítí je možné vybudovat tzv. *Network dataset*⁶, v rámci kterého je realizován samotný výpočet matice ohodnocení hran. Při tvorbě tohoto *Network datasetu* je nutné nově vytvořený atribut „AKUMULACE“ přidat mezi ostatní nákladové atributy.

Samotný výpočet matice ohodnocení hran lze realizovat v aplikaci ArcMap s využitím funkce „New OD Cost Matrix“. Do této funkce vstupují všechny vrcholy izolované dopravní sítě, které byly vytvořeny při tvorbě *Network datasetu*. V nastavení funkce je možné ovlivnit, zda budou do výpočtu zahrnuty jednosměrné pozemní komunikace, a který z atributů bude atributem akumulacím. Při výpočtu matice ohodnocení hran musí být akumulací atribut nastaven na hodnotu 1.

⁶Vnitřní datový soubor vytvořený speciálně pro podporu síťových analýz.



OBRÁZEK 5.5: Příklad zjednodušení izolované dopravní sítě.

Zdroj: Vlastní zpracování.

Výsledná atributová tabulka pak obsahuje vzdálenosti mezi všemi dvojicemi vrcholů izolované dopravní sítě. S využitím zavedeného atributu „AKUMULACE“ lze pak snadno filtrovat záznamy s hodnotami 0 - totožné vrcholy a hodnotami 1 - incidentní vrcholy. Neorientované hrany mají v matici ohodnocení hran symetrickou hodnotu 1. Orientované hrany pak mají v matici ohodnocení hran uvedenu hodnotu 1 pouze ve směru, ve kterém lze touto hranou procházet. V opačném směru je tato hodnota nevyplněna a je ji nutné nahradit vhodnou prohibitivní konstantou, jak je podrobně popsáno v podkapitole 3.2.3. Matice ohodnocení hran, korespondující s izolovanou dopravní sítí z obrázku č. 5.5, je zachycena v tabulce č. 5.14.

TABULKA 5.14: Matice ohodnocení hran.

	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	v_8	v_9	v_{10}	v_{11}	v_{12}	v_{13}	v_{14}	v_{15}	v_{16}	v_{17}	v_{18}	v_{19}	v_{20}	v_{21}
v_1																					
v_2			426																		
v_3	426			100						193											
v_4		100	143		246		72														
v_5				246																	
v_6							83														
v_7				72		83		39													
v_8								58													
v_9							39	58			81										
v_{10}			193						81	108	108	248	T		91		88				
v_{11}																					
v_{12}									81	108	248										
v_{13}										309				86		135					
v_{14}													86		174				111		
v_{15}										91				174							
v_{16}											88										
v_{17}													135								
v_{18}														111				130		167	90
v_{19}																	130				
v_{20}																		167			
v_{21}																		90			

Zdroj: Vlastní zpracování.

5.3 Příprava dat pro optimalizaci – obsluha vybrané podmnožiny hran

Disponibilní data pro úlohu o obsluze vybrané podmnožiny hran, formulovanou v podkapitole 3.2.2 očištěná od vstupních chyb jsou uvedena v tabulce č. 5.13. Jedná se o výběr z konkrétní úlohy z oblasti města Olomouce v Olomouckém kraji. Příprava vstupních dat pro optimalizaci je u této úlohy obdobná jako příprava vstupních dat pro optimalizaci u úlohy o obsluze izolované množiny hran.

5.3.1 Tvorba vybrané dopravní sítě

Z názvů ulic, uvedených v tabulce č. 5.13, je v první řadě nutné vytvořit reálnou dopravní síť (vybranou síť) tvořenou jejími základními stavebními prvky, uzly a úseky. Tvorba vybrané dopravní sítě zcela koresponduje s tvorbou izolované dopravní sítě, která je popsána v podkapitole 5.2.1. Vizualizace vybrané dopravní sítě je zachycena na obrázku č. 5.4.

5.3.2 Tvorba náhradní dopravní sítě

V rámci tohoto kroku dochází k přechodu od reálné dopravní sítě k síti náhradní⁷ a je možné realizovat případná zjednodušení. Pokud by byla vybraná dopravní síť obsluhována izolovaně tak, že by nebylo možné pojíždět jiné pozemní komunikace, než komunikace zahrnuté do vybrané dopravní sítě, pak by bylo možné zanedbat všechna dílčí dělení úseků. Takto je postupováno v případě obsluhy izolované dopravní sítě, viz podkapitola č. 5.2.2. V tomto případě však není možné toto zjednodušení realizovat, protože jednotlivá dílčí dělení úseků mohou být klíčovými uzly, ve kterých může na vybranou dopravní síť navazovat širší dopravní síť, kterou je možné využít k efektivním přejezdům obslužného vozidla. Vybraná dopravní síť z obrázku č. 5.4 je tedy tvořena 36 vrcholy a 37 hranami.

5.3.3 Tvorba širší dopravní sítě

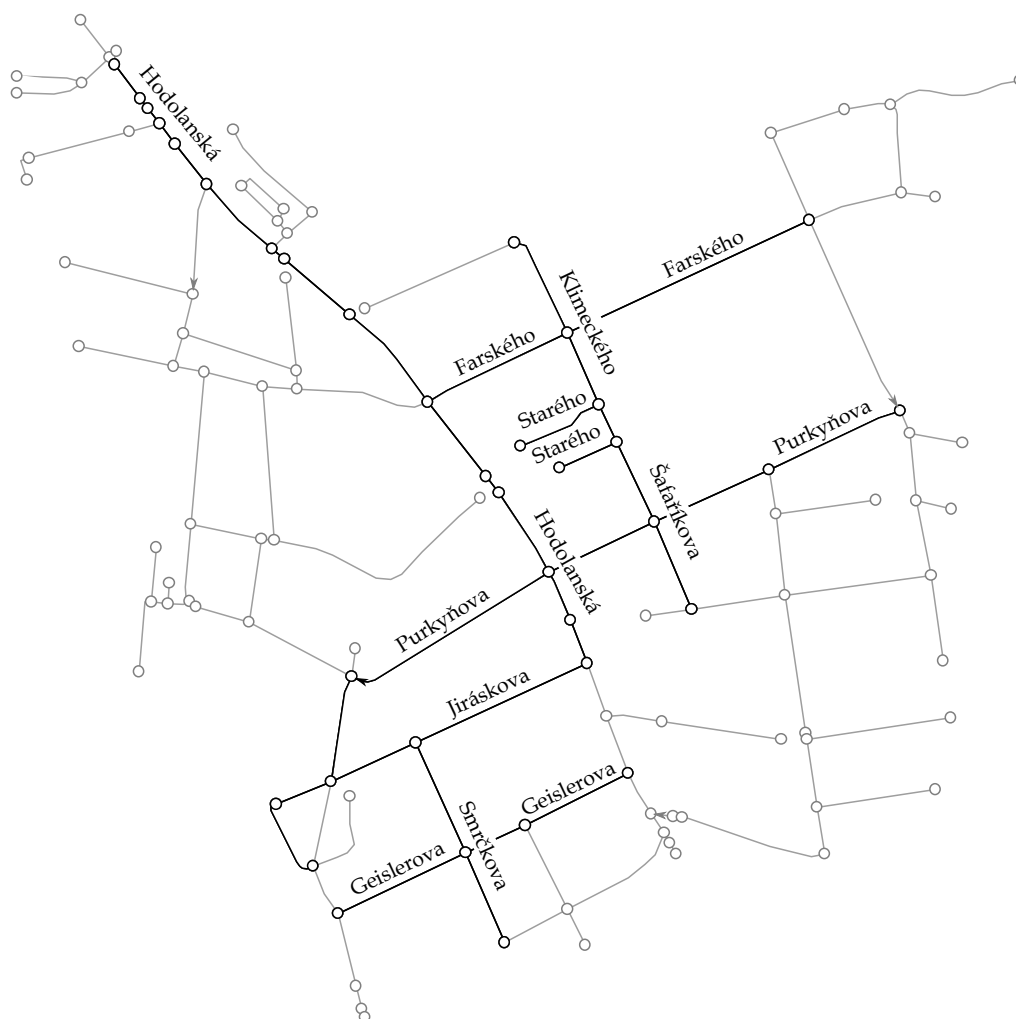
Pro vytvoření širší dopravní sítě je nutné vycházet z vybrané dopravní sítě, ke které je možné definovat širší dopravní síť, a to prostřednictvím prostorového dotazu. V rámci tohoto kroku jsou vybrány všechny pozemní komunikace od vybrané dopravní sítě do určité vzdálenosti, kterou lze nastavit. V tomto vzorovém příkladu se jednalo o vzdálenost 150 m. Širší dopravní síť je tvořena 76 vrcholy a 93 hranami. Vizualizace vybrané i širší dopravní sítě je zachycena na obrázku č. 5.6. Vzhledem k zachování přehlednosti obrázku nejsou uvedena čísla jednotlivých vrcholů. Tmavou barvou jsou vyznačeny vrcholy a hrany vybrané dopravní sítě, světlou barvou jsou vyznačeny vrcholy a hrany širší dopravní sítě.

5.3.4 Výpočet matice ohodnocení hran

Výpočet matice ohodnocení hran je opět realizován modifikací výpočtu matice vzdáleností, kdy jsou zohledňovány pouze vzájemně incidentní vrcholy. Aby byl tento proces možný, je nutné i do atributové tabulky širší dopravní sítě vložit nový atribut „AKUMULACE“, ve kterém budou akumulovány náklady, resp. počty průchodů přes jednotlivé vrcholy. Tento nákladový atribut je datového typu *Double* a je nutné,

⁷Reálná dopravní síť (uzly a úseky) – náhradní dopravní síť (vrcholy, hrany).

aby byla jeho hodnota rovna 1 i pro všechny hrany širší dopravní sítě. Nad takto připravenou sítí je možné vybudovat *Network dataset* v rámci kterého je realizován samotný výpočet matice ohodnocení hran. Jelikož při tvorbě nového *Network datasetu* vznikne současně i bodová vrstva, která obsahuje jednotlivé vrcholy širší dopravní sítě, je nutné provést přečíslení těchto vrcholů tak, aby toto číslování odpovídalo číslování vybrané dopravní sítě. Poté už je možné vypočítat matice ohodnocení hran. Tabulkový zápis matice ohodnocení hran pro vybranou dopravní síť je uveden v tabulkách č. 5.15 a č. 5.16. Tabulkový zápis matic ohodnocení hran pro širší dopravní síť je uveden v tabulkách č. 5.17 až č. 5.20.



OBRÁZEK 5.6: Vybraná a širší dopravní síť.

Zdroj: Vlastní zpracování.

TABULKA 5.15: MOH
„nutné“ hrany 1. část.

R	NAME	O	D	TL
1	1 - 2	1	2	39,20
2	2 - 1	2	1	39,20
3	2 - 3	2	3	12,09
4	3 - 2	3	2	12,09
5	3 - 4	3	4	16,93
6	4 - 3	4	3	16,93
7	4 - 5	4	5	23,50
8	5 - 4	5	4	23,50
9	5 - 6	5	6	47,54
10	6 - 5	6	5	47,54
11	6 - 7	6	7	85,06
12	7 - 6	7	6	85,06
13	7 - 9	7	9	14,35
14	8 - 10	8	10	79,56
15	8 - 11	8	11	55,16
16	9 - 7	9	7	14,35
17	9 - 13	9	13	79,29
18	10 - 8	10	8	79,56
19	11 - 8	11	8	55,16
20	11 - 14	11	14	98,99
21	11 - 15	11	15	85,64
22	12 - 17	12	17	129,87
23	13 - 9	13	9	79,29
24	13 - 16	13	16	107,93
25	14 - 11	14	11	98,99
26	14 - 24	14	24	T
27	15 - 11	15	11	85,64
28	15 - 17	15	17	111,09
29	15 - 28	15	28	173,93
30	16 - 13	16	13	107,93
31	16 - 18	16	18	87,02
32	16 - 26	16	26	143,28
33	17 - 12	17	12	129,87
34	17 - 15	17	15	111,09
35	17 - 20	17	20	90,44
36	17 - 23	17	23	60,43
37	18 - 16	18	16	87,02

TABULKA 5.16: MOH
„nutné“ hrany 2. část.

R	NAME	O	D	TL
38	18 - 19	18	19	19,46
39	19 - 18	19	18	19,46
40	19 - 24	19	24	86,43
41	20 - 17	20	17	90,44
42	21 - 26	21	26	99,98
43	22 - 29	22	29	82,84
44	23 - 17	23	17	60,43
45	23 - 31	23	31	106,65
46	24 - 14	24	14	210,39
47	24 - 19	24	19	86,43
48	24 - 27	24	27	48,68
49	24 - 32	24	32	107,99
50	25 - 30	25	30	57,90
51	26 - 16	26	16	143,28
52	26 - 21	26	21	99,98
53	26 - 29	26	29	72,06
54	26 - 35	26	35	245,75
55	27 - 24	27	24	48,68
56	27 - 28	27	28	42,11
57	28 - 15	28	15	173,93
58	28 - 27	28	27	42,11
59	29 - 22	29	22	82,84
60	29 - 26	29	26	72,06
61	29 - 30	29	30	38,58
62	30 - 25	30	25	57,90
63	30 - 29	30	29	38,58
64	30 - 32	30	32	80,70
65	31 - 23	31	23	106,65
66	32 - 24	32	24	107,99
67	32 - 30	32	30	80,70
68	32 - 33	32	33	87,78
69	32 - 34	32	34	116,06
70	33 - 32	33	32	87,78
71	34 - 32	34	32	116,06
72	34 - 36	34	36	132,01
73	35 - 26	35	26	245,75
74	36 - 34	36	34	132,01

Zdroj: Vlastní zpracování.

TABULKA 5.17: MOH
„možné“ hrany 1. část.

R	NAME	O	D	TL
1	1 - 45	1	45	7,95
2	4 - 47	4	47	28,33
3	6 - 57	6	57	102,88
4	7 - 69	7	69	20,08
5	10 - 73	10	73	88,34
6	10 - 11	10	11	79,86
7	10 - 12	10	12	49,89
8	11 - 10	11	10	79,86
9	12 - 75	12	75	68,63
10	12 - 10	12	10	49,89
11	14 - 62	14	62	106,77
12	14 - 74	14	74	25,84
13	16 - 71	16	71	123,24
14	20 - 80	20	80	65,41
15	21 - 77	21	77	150,15
16	23 - 80	23	80	86,77
17	28 - 82	28	82	51,85
18	31 - 82	31	82	56,32
19	31 - 84	31	84	43,03
20	33 - 83	33	83	42,23
21	33 - 94	33	94	86,88
22	34 - 36	34	36	132,01
23	34 - 92	34	92	41,44
24	35 - 36	35	36	194,69
25	35 - 91	35	91	87,85
26	35 - 102	35	102	89,06
27	35 - 36	35	36	194,69
28	36 - 103	36	103	22,65
29	36 - 35	36	35	T
30	37 - 44	37	44	324,97
31	38 - 44	38	44	99,81
32	39 - 45	39	45	153,47
33	40 - 41	40	41	26,29
34	41 - 40	41	40	26,29
35	41 - 47	41	47	95,98
36	42 - 57	42	57	121,04
37	43 - 53	43	53	88,71
38	44 - 45	44	45	34,60
39	44 - 38	44	38	99,81
40	44 - 37	44	37	324,97
41	45 - 1	45	1	7,95
42	45 - 46	45	46	9,10
43	45 - 44	45	44	34,60
44	45 - 39	45	39	153,47
45	46 - 45	46	45	9,10
46	47 - 4	47	4	28,33
47	47 - 41	47	41	95,98

TABULKA 5.18: MOH
„možné“ hrany 2. část.

R	NAME	O	D	TL
48	48 - 49	48	49	70,60
49	49 - 51	49	51	15,00
50	49 - 50	49	50	50,21
51	49 - 48	49	48	70,60
52	50 - 49	50	49	50,21
53	51 - 49	51	49	15,00
54	51 - 52	51	52	18,90
55	51 - 55	51	55	21,01
56	52 - 51	52	51	18,90
57	53 - 59	53	59	28,84
58	53 - 54	53	54	31,44
59	53 - 43	53	43	88,71
60	54 - 53	54	53	31,44
61	54 - 70	54	70	109,73
62	54 - 57	54	57	37,03
63	55 - 58	55	58	8,03
64	55 - 51	55	51	21,01
65	55 - 56	55	56	72,02
66	56 - 63	56	63	66,13
67	56 - 55	56	55	72,02
68	56 - 59	56	59	140,83
69	57 - 54	57	54	37,03
70	57 - 42	57	42	121,04
71	57 - 6	57	6	T
72	58 - 55	58	55	8,03
73	58 - 62	58	62	50,67
74	59 - 53	59	53	28,84
75	59 - 64	59	64	55,38
76	59 - 56	59	56	140,83
77	60 - 72	60	72	106,48
78	61 - 66	61	66	46,66
79	61 - 67	61	67	53,10
80	62 - 58	62	58	50,67
81	62 - 63	62	63	77,94
82	62 - 14	62	14	106,77
83	63 - 65	63	65	11,98
84	63 - 56	63	56	66,13
85	63 - 62	63	62	77,94
86	64 - 71	64	71	32,19
87	64 - 59	64	59	55,38
88	64 - 65	64	65	141,77
89	65 - 63	65	63	11,98
90	65 - 64	65	64	141,77
91	65 - 79	65	79	226,39
92	66 - 67	66	67	12,25
93	66 - 69	66	69	14,36
94	66 - 61	66	61	46,66

TABULKA 5.19: MOH
„možné“ hrany 3. část.

R	NAME	O	D	TL
95	67 - 66	67	66	12,25
96	67 - 61	67	61	53,10
97	68 - 70	68	70	85,77
98	69 - 66	69	66	14,36
99	69 - 7	69	7	20,08
100	69 - 72	69	72	30,07
101	70 - 71	70	71	17,25
102	70 - 68	70	68	85,77
103	70 - 54	70	54	109,73
104	71 - 70	71	70	17,25
105	71 - 64	71	64	32,19
106	71 - 16	71	16	123,24
107	72 - 69	72	69	30,07
108	72 - 60	72	60	106,48
109	73 - 10	73	10	88,34
110	74 - 14	74	14	25,84
111	75 - 76	75	76	21,79
112	75 - 12	75	12	68,63
113	76 - 78	76	78	8,03
114	76 - 75	76	75	21,79
115	77 - 21	77	21	150,15
116	78 - 76	78	76	8,03
117	79 - 65	79	65	226,39
118	80 - 81	80	81	36,89
119	80 - 20	80	20	65,41
120	80 - 23	80	23	86,77
121	80 - 86	80	86	117,29
122	81 - 80	81	80	36,89
123	82 - 28	82	28	51,85
124	82 - 85	82	85	52,10
125	82 - 31	82	31	56,32
126	83 - 33	83	33	42,23
127	84 - 86	84	86	20,90
128	84 - 31	84	31	43,03
129	84 - 88	84	88	T
130	85 - 82	85	82	52,10
131	85 - 93	85	93	110,74
132	86 - 87	86	87	10,98
133	86 - 80	86	80	117,29
134	86 - 84	86	84	20,90
135	87 - 86	87	86	10,98
136	87 - 89	87	89	11,48
137	88 - 84	88	84	20,23
138	88 - 90	88	90	8,37
139	89 - 87	89	87	11,48
140	90 - 88	90	88	8,37

TABULKA 5.20: MOH
„možné“ hrany 4. část.

R	NAME	O	D	TL
141	90 - 98	90	98	136,68
142	91 - 99	91	99	70,88
143	91 - 35	91	35	87,85
144	92 - 34	92	34	41,44
145	92 - 94	92	94	75,24
146	92 - 100	92	100	92,90
147	93 - 85	93	85	110,74
148	94 - 92	94	92	75,24
149	94 - 33	94	33	86,88
150	94 - 95	94	95	127,89
151	94 - 105	94	105	135,48
152	95 - 96	95	96	6,31
153	95 - 94	95	94	127,89
154	96 - 95	96	95	6,31
155	96 - 97	96	97	62,92
156	96 - 109	96	109	133,95
157	97 - 98	97	98	43,94
158	97 - 96	97	96	62,92
159	97 - 106	97	106	110,39
160	98 - 97	98	97	43,94
161	98 - 90	98	90	136,68
162	99 - 101	99	101	43,23
163	99 - 91	99	91	70,88
164	100 - 92	100	92	92,90
165	101 - 99	101	99	43,23
166	101 - 102	101	102	83,00
167	101 - 112	101	112	125,31
168	102 - 107	102	107	31,88
169	102 - 101	102	101	83,00
170	102 - 35	102	35	89,06
171	103 - 111	103	111	49,29
172	103 - 104	103	104	61,96
173	103 - 36	103	36	22,65
174	104 - 110	104	110	33,18
175	104 - 103	104	103	61,96
176	104 - 105	104	105	69,98
177	105 - 104	105	104	69,98
178	105 - 108	105	108	79,67
179	105 - 94	105	94	135,48
180	106 - 97	106	97	110,39
181	107 - 102	107	102	31,88
182	108 - 105	108	105	79,67
183	109 - 96	109	96	133,95
184	110 - 104	110	104	33,18
185	111 - 103	111	103	49,29
186	112 - 101	112	101	125,31

Názvy sloupců v tabulkovém zpracování matice vzdáleností mají následující význam. Označení „R“ (row) představuje název řádku, „NAME“ pak představuje pojmenování relace mezi jednotlivými vrcholy. Symbol „O“ označuje zdroje (origins), symbol „D“ pak označuje cíle (destinations). Poslední symbol „TL“ (total length) označuje samotnou vzdálenost měřenou v metrech.

Kapitola 6

Závěr

Předložená metodika „Zpracování nehomogenních vstupních dat s využitím GIS“ je jedním ze závěrečných výstupů projektu TH02010930 „Efektivní přístupy k úsporným a adaptabilním systémům údržby a obsluhy dopravních sítí“. Metodika je koncipována pro využití v rozhodovacích oblastech zaměřených na obsluhu a údržbu dopravních sítí, kde jsou požadovány různé typy matic vzdáleností odpovídajících cestní síti. Vstupní data zpracovaná dle metodiky jsou využitelná v celé řadě výpočetních nástrojů a jsou obecně použitelná pro různé druhy úloh (trasovací, dopravní, lokačně-alokační úlohy, přiřazovací problémy, atd.). Primárním adresátem metodiky jsou především projekční a logistické subjekty a výzkumné organizace.

Úvodní Kapitola č. 1, je věnována rešerši stavu průřezu teoretického poznání a praktických aplikací do praxe, ze které následně vyplývá motivace k tvorbě samotné metodiky. Následně v Kapitole č. 2 je pozornost zaměřena na vymezení základních pojmů, které se bezprostředně týkají řešené problematiky. Kapitola č. 3 shrnuje popisné informace, týkající se dvou stěžejních úloh, které jsou spojeny s problematikou návrhů tras obslužných vozidel. Charakteristika disponibilních dat je popsána v Kapitole č. 4, na kterou úzce navazuje Kapitola č. 5 věnována detailnímu popisu přípravy vstupních dat s využitím GIS pro všechny charakteristické úlohy, které byly dříve v textu popsány.

V rámci komplexního řešení problematiky návrhů tras obslužných vozidel byly dílčí kroky a přístupy taktéž ověřovány prostřednictvím kvalifikačních prací vedoucích řešitelů projektu. Viz [10, 12, 15, 33–35].

Všechny dílčí kroky vedoucí k samotné metodice byly po celou dobu řešení projektu průběžně testovány, konzultovány a ověřovány u spolupracujících subjektů z praxe, z nichž nejvýznamnější jsou uvedeni v předmluvě této metodiky. V současné době je celý postup shrnutý v metodice opakovaně využíván pro řešení praktických úloh a je tím prokazována jeho použitelnost.

Literatura

- [1] Applegate, D. L. et al., 2006. *The Traveling Salesman Problem*. New Jersey: Princeton University Press. ISBN 978-0-691-12993.
- [2] ARCDATA PRAHA, 2020 [online]. [cit. 29. května 2020]
Dostupné z <https://www.arcdata.cz/>.
- [3] Bondy, J. A. and Murty, U. S. R., 2008. *Graph theory*. London: Springer. ISBN 978-1-84628-969-9.
- [4] CEDA, 2020 [online]. [cit. 1. června 2020]
Dostupné z <http://www.ceda.cz/>.
- [5] Clear Destination, 2020 [online]. [cit. 15. dubna 2020]
Dostupné z <https://www.cleardestination.com/>.
- [6] ESRI, 2020 [online]. [cit. 15. dubna 2020]
Dostupné z <https://www.esri.com/>.
- [7] DNA Evolutions, 2020 [online]. [cit. 15. dubna 2020]
Dostupné z <https://dna-evolutions.com/>.
- [8] Geoportál: ČÚZK, 2020 [online]. [cit. 15. dubna 2020]
Dostupné z <https://geoportal.cuzk.cz/>.
- [9] Geofabrik, 2020 [online]. [cit. 15. dubna 2020]
Dostupné z <http://www.geofabrik.de/>.
- [10] Glonek, J., 2017. *Porovnání programů a dat pro potřeby řešení úloh v dopravní síti měst a obcí*. Ostrava. Bakalářská práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Hornicko-geologická fakulta. Vedoucí práce Igor Ivan.
- [11] Hall, R. and Partyka, J., 2014. Vehicle Routing Software Survey. *Inform: Operations Research & Analytics* [online]. [cit. 30. ledna 2020]
Dostupné z <https://www.informs.org/ORMS-Today/OR-MS-Today-Software-Surveys/Vehicle-Routing-Software-Survey>.
- [12] Holeček, P., 2020. *Sít'ové analýzy modelování svozu odpadu*. Ostrava. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Hornicko-geologická fakulta. Vedoucí práce Lucie Orlíková.
- [13] Horák, J., Caha, J., Inspektor, T., Kukuliač, P. Geokódování objektů podle adresy. In: *Symposium GIS Ostrava 2015: Současné výzvy geoinformatiky*. Ostrava: VŠB–TU Ostrava, pp. 274–279. ISBN 978-80-248-3677-5.
- [14] Janáček, J., 2002. *Optimalizace na dopravních sítích*. Žilina: Žilinská univerzita v Žilině. ISBN 80-8070-031-1.

- [15] Knopp, T., 2020. *Porovnání algoritmů obchodního cestujícího pro optimalizaci tras svozu odpadu v pgRouting*. Ostrava. Bakalářská práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Hornicko-geologická fakulta. Vedoucí práce Lucie Orlíková.
- [16] Kozel, P. Dekompozice okružních jízd s využitím matematického programování. *Perner's Contacts*. **12**(3), 62–70. ISSN 1801–674X.
- [17] Kozel, P., Michalcová, Š. The use of linear programming in solving service tasks of mixed transport networks. In: *Proc. of 11th International Conference on Strategic Management and its Support by Information Systems 2015*. Uherské Hradiště: VŠB–TU Ostrava, pp. 274–279. ISBN 978-80-248-3741-3.
- [18] Kozel, P., Michalcová, Š. The use of linear programming to solve routing tasks in practice. In: *Proc. of 33th International Conference Mathematical Methods in Economics 2015*. Cheb: Západočeská univerzita v Plzni, pp. 395–400. ISBN 978-80-261-0539-8.
- [19] Kozel, P., Friedrich, V. a Michalcová, Š. Transformation of task to locate a minimal Hamiltonian circuit into the problem of finding the Eulerian path in vehicle routing application. In: *Proc. of 35th International Conference Mathematical Methods in Economics 2019*. Hradec Králové: Univerzita Hradec Králové, pp. 360–365. ISBN 978-80-7435-677-8.
- [20] Kozel, P., Orlíková, L., Pomp, M. a Michalcová, Š. Application of the p-Median approach for a basic decomposition of a set of vertices to service vehicles routing design. In: *Proc. of 36th International Conference Mathematical Methods in Economics 2018*. Jindřichův Hradec: VŠE – Jindřichův Hradec, pp. 252–257. ISBN 978-80-7378-371-6.
- [21] Kozel, P., Orlíková, L. a Michalcová, Š. The Modified Rural Postman Problem in Vehicle Route Optimization. *Communications, Scientific Letters of the University of Žilina*. **20**(3), 88–92. ISSN 1335-4205.
- [22] Kozel, P. a Orlíková, L. Návrhy tras obslužných vozidel. *Odpady*. **2019**(3), 24–25. ISSN 1210-4922.
- [23] Matis, P., 2010. *Geografické informačné systémy*. Žilina: Žilinská univerzita v Žilíně. ISBN 978-80-554-0214-7.
- [24] Michalcová, Š., Kozel, P. a Orlíková, L. Optimal depot-dump routes design for municipal waste collection vehicles. In: *Proc. of 37th International Conference Mathematical Methods in Economics 2019*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, pp. 162–167. ISBN 9788073947606.
- [25] Nařízení vlády č. 430/2006 Sb. ze dne 16. srpna 2006, o stanovení geodetických referenčních systémů a státních mapových děl závazných na území státu a zásadách jejich používání.
- [26] *Open Door Logistics*, 2020 [online]. [cit. 15. dubna 2020]
Dostupné z <https://www.opendoorlogistics.com/>.
- [27] Pomp, M., Kozel, P. a Michalcová, Š. Using 'sweep algorithm' for decomposing a set of vertices and subsequent solution of the traveling salesman problem in decomposed subsets. In: *Proc. of 35th International Conference Mathematical Methods in Economics 2017*. Hradec Králové: Univerzita Hradec Králové, pp. 584–589. ISBN 978-80-7435-677-8.

- [28] Pomp, M. Automatická tvorba tiskových výstupů obslužných tras. *Perner's Contacts*. 19(3), 81–88. ISSN 1801–674X.
- [29] Palúch, S., 2008. *Algoritmická teória grafov*. Žilina: Žilinská univerzita v Žilině.
- [30] Rapant, P., 2002. *Úvod do geografických informačních systémů*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava. Hornicko-geologická fakulta.
- [31] Sickle, J., 2002. *Basic GIS coordinates*. New York: CRC Press. ISBN 0-415-30216-1.
- [32] Smutný, J., 2007. *Geografické informační systémy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně.
- [33] Sobek, M., 2017. *Optimalizace tras pro svoz komunálního odpadu*. Ostrava. Bakalářská práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Fakulta strojní. Vedoucí práce Petr Kozel.
- [34] Sobek, M., 2020. *Využití CF-RS přístupu pro řešení trasovacích úloh*. Ostrava. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Fakulta strojní. Vedoucí práce Petr Kozel.
- [35] Špaček, F., 2017. *Využití matematického programování pro řešení trasovacích úloh*. Ostrava. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Ekonomická fakulta. Vedoucí práce Petr Kozel.
- [36] *Správa základních registrů*, 2020 [online]. [cit. 1. června 2020]
Dostupné z <https://www.szrcr.cz/>.
- [37] Široký, J a Slivoně, M., 2010. Optimalizace svozu a rozvozu kusových zásilek. *Perner's Contacts*. 5(1), 255–269. ISSN 1801–674X.
- [38] *Veřejný dálkový přístup*, 2020 [online]. [cit. 1. června 2020]
Dostupné z <https://vdp.cuzk.cz/>.
- [39] *Wide Scope*, 2020 [online]. [cit. 15. dubna 2020]
Dostupné z <http://www.widescope.pt/>.
- [40] Zákon 111/2009 Sb. ze dne 26. března 2009, o základních registrech.

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Ekonomická fakulta
Hornicko-geologická fakulta
Katedra matematických metod v ekonomice

RETIA

Zpracování nehomogenních vstupních dat s využitím GIS

Ing. Mgr. Petr KOZEL, Ph.D.

Ing. Lucie ORLÍKOVÁ, Ph.D.