

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra geoinformatiky

Jan PROCHÁZKA

**MAPOVÁNÍ ZIMNÍ ÚDRŽBY KOMUNIKACÍ
VYBRANÉHO ÚZEMÍ V PROSTŘEDÍ GIS**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Mgr. Jan Heisig

Olomouc 2011

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci bakalářského studia oboru Geoinformatika a geografie vypracoval samostatně pod vedením Mgr. Jana Heisiga.

Všechny použité materiály a zdroje jsou citovány s ohledem na vědeckou etiku, autorská práva a zákony na ochranu duševního vlastnictví.

Všechna poskytnutá i vytvořená digitální data nebudu bez souhlasu školy poskytovat.

V Olomouci 20. 5. 2011

Děkuji vedoucímu práce Mgr. Janu Heisigovi za podněty a připomínky při vypracování práce. Dále děkuji provoznímu náměstkovi ing. Jiřímu Frycovi a mistrovi provozovny místních komunikací Michalovi Kollárovi z Technických služeb města Olomouce, a. s. za odbornou pomoc při tvorbě práce.

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan PROCHÁZKA**
Osobní číslo: **R08237**
Studijní program: **B1301 Geografie**
Studijní obor: **Geoinformatika a geografie**
Název tématu: **Mapování zimní údržby komunikací vybraného území
v prostředí GIS**
Zadávající katedra: **Katedra geoinformatiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem bakalářské práce je zpracování dopravních aspektů zimní údržby silnic v prostředí geografických informačních systémů. Student provede rešerši stávajících dostupných dat, používaného software metod a organizací zabývajících se touto problematikou v Česku. Na základě této rešerše bude zhodnocena možnost nasazení GIS jako nástroje pro vstup a management dat, prostorové analýzy a vizualizaci. V praktické části práce student provede na příkladu vybraného území aplikaci GIS v problematice zimní údržby komunikací. V průběhu práce zpracuje analýzu stávajícího stavu, podle potřeb navrhne a provede převod dat a vizualizaci dat. Dále pak identifikuje faktory ovlivňující organizaci a výkon zimní údržby komunikací. V konečné fázi navrhne časoprostorovou optimalizaci tras vozidel zimní údržby. Pro analytické zpracování student zajistí vhodná data, podle potřeby provede terénní sběr dat. Výsledky bakalářské práce budou geoinformatické a tématické (zimní údržba komunikací). Výsledky budou publikovány ve formě databáze prostorových informací a mapových výstupů. Student vyplní údaje o všech datových sadách, které vytvořil nebo získal v rámci práce, do Metainformačního systému katedry geoinformatiky a současně zálohu údajů ve formě validovaného XML souboru. Celá práce (text, přílohy, výstupy, zdrojová a vytvořená data, XML soubor) se odevzdá v digitální podobě na CD (DVD) a text práce s vybranými přílohami bude odevzdán ve dvou svázaných výtiscích na sekretariát katedry. O bakalářské práci student vytvoří webovou stránku v souladu s pravidly dostupnými na stránkách katedry. Práce bude zpracována podle zásad dle Voženílek (2002). Na závěr bakalářské práce připojí student jednostránkové resumé v anglickém jazyce.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **max. 50 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

zákon č. 13/1997 Sb. o pozemních komunikacích ve znění pozdějších předpisů prováděcí vyhláška č. 104/1997 Sb. k zákonu č. 13/1997Sb. o pozemních komunikacích Plány zimní údržby komunikací měst a krajů Periodika a sborníky z konferencí z oblasti dopravy a telematiky (např. Perner's Contacs, sborník příspěvků k semináři Úlohy diskrétní optimalizace v dopravní praxi apod). Voženílek, V. (1999): Aplikovaná kartografie I - tematické mapy. Olomouc, Vydavatelství UP 178 s. Voženílek, V. (2002): Diplomové práce z geoinformatiky. Vydavatelství Univerzity Palackého, Olomouc, UP, 31 s.

Vedoucí bakalářské práce: **Mgr. Jan Heisig**
Katedra geoinformatiky


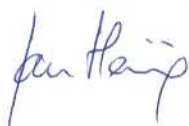
Datum zadání bakalářské práce: **13. června 2010**

Termín odevzdání bakalářské práce: **30. dubna 2011**

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA GEONFORMATIKY
tř. Svobody 26, 771 46 Olomouc
-1-

L.S.

Mgr. Jan Heisig
vedoucí práce



Prof. RNDr. Vít Voženílek, CSc.
vedoucí katedry

V Olomouci dne 13. června 2010

OBSAH

ÚVOD	6
1 CÍLE PRÁCE	8
2 ZIMNÍ ÚDRŽBA KOMUNIKACÍ	9
2.1 Pozemní komunikace	9
2.2 Časové lhůty pro zmírňování závad ve sjízdnosti.....	10
2.3 Technologie posypu	11
3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	12
3.1 Optimalizace tras zimní údržby	12
3.2 GIS aplikace pro zimní údržbu	13
3.2.1 CDSw – City Data Software, spol. s r. o.	14
3.2.2 Position s. r. o.	14
3.2.3 Mapový server Marushka®	16
3.3 Technické služby města Olomouce, a. s.	17
4 POUŽITÉ METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ	18
4.1 Použité programy	18
4.2 Použitá vstupní data	18
4.3 Zájmová území.....	19
4.4 Postup zpracování	19
4.5 Metody a algoritmy	20
5 OPTIMALIZAČNÍ ANALÝZY	21
5.1 Příprava dat	21
5.1.1 Tvorba síťového datasetu (Network Dataset).....	22
5.1.2 Převod linií na body.....	23
5.2 Analýzy optimalizace tras	24
5.3 Úprava optimalizačních tras.....	25
5.3.1 Dodatečná editace.....	25
5.3.2 Napojení dílčích úseků tras.....	26
5.4 Vizualizace tras	27
6 VÝSLEDKY	28
7 DISKUZE	30
8 ZÁVĚR	32
POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE	
SUMMARY	
PŘÍLOHY	

ÚVOD

V současné době, kdy je primárním cílem všech sektorů minimalizovat finanční náklady ve všech směrech, bylo si stanoveno za cíl v této bakalářské práci pokusit se vytvořit optimalizované trasy pro vozidla zimní údržby, tak aby byla minimalizována jejich délka a tím i spotřeba paliva.

Byla navázána spolupráce s Technickými službami města Olomouce, a. s. (TSMO), které zajišťují zimní údržbu komunikací na území statutárního města Olomouce. Za zájmová území byly vybrány čtyři současné trasy TSMO, s ohledem na jejich různorodost komunikační sítě. Na těchto trasách byly prováděny optimalizační analýzy v závislosti na odporovém faktoru, kterým je délka komunikací.

Vytvořené trasy byly následně porovnány se stávajícím stavem a přehledně vizualizovány.

1 CÍLE PRÁCE

Cílem bakalářské práce je zpracování dopravních aspektů zimní údržby silnic v prostředí geografických informačních systémů. V teoretické části je třeba provést rešerši stávajících dostupných dat, používaného software metod a organizací zabývajících se touto problematikou v České republice.

V praktické části práce je provedena aplikace GIS v problematice zimní údržby komunikací na území města Olomouce, zaměřené především na optimalizaci tras vozidel zimní údržby. V práci je zpracována analýza stávajícího stavu, na jejímž základě jsou získána potřebná data. Výsledné nově vzniklé optimalizované trasy jsou přehledně vizualizovány v atraktivním prostředí Google Earth.

Vytvořené trasy poslouží Technickým službám města Olomouce, a. s. k možné další implementaci do praktického výkonu zimní údržby komunikací.

2 ZIMNÍ ÚDRŽBA KOMUNIKACÍ

Zimní údržba silnic se organizačně provádí podle plánu zimní údržby, který vychází ze zákona č.13/1997 Sb., o pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů a vyhláškou Ministerstva dopravy a spojů č. 104/1997 Sb., kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích, v platném znění.

2.1 Pozemní komunikace

Dle zmíněného zákona č. 13/1997 Sb. o pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů je pozemní komunikace dopravní cesta určená k užití silničními a jinými vozidly a chodci, včetně pevných zařízení nutných pro zajištění tohoto užití a jeho bezpečnosti. Dělí se do čtyř níže uvedených kategorií.

Dálnice je pozemní komunikací se směrově oddělenými jízdními pruhy, bez křižovatek a s vymezenými místy pro vjezd a výjezd. Slouží převážně k dálkové a mezistátní dopravě pouze silničním motorovým vozidlům, jejichž maximální rychlost není menší, než maximální povolená rychlost dálnice. Vlastnické právo státu k dálnicím vykonává Ministerstvo dopravy, které pověřilo výkonem vlastnických práv příspěvkovou organizaci Ředitelství silnic a dálnic.

Silnice je veřejně přístupná pozemní komunikace sloužící pro všechny typy vozidel i chodce. Podle dopravního významu se rozděluje do tří tříd:

- Silnice I. třídy je určena převážně pro rychlou dálkovou a mezinárodní dopravu. Stejně jako dálnice je přístupná pouze motorovým vozidlům, jejichž maximální povolená rychlost není menší než maximální povolená rychlost silnice.
- Silnice II. třídy je určena zejména pro dopravu mezi okresy.
- Silnice III. třídy je určena k propojení sousedních obcí a jejich propojení na ostatní pozemní komunikace.

Vlastníkem silnic I. třídy je rovněž jako u dálnic stát, silnic II. a III. třídy příslušný kraj.

Místní komunikace je pozemní komunikací sloužící převážně k dopravě na území obce. Vlastníkem místních komunikací je příslušná obec, na jejímž pozemku se komunikace nachází. Obec dále rozhoduje na základě technického stavu a dopravního významu k dalšímu rozřazení komunikací do čtyř tříd.

Účelová komunikace slouží k propojení jednotlivých nemovitostí a k napojení těchto nemovitostí s ostatními pozemními komunikacemi. Vlastníkem je fyzická či právnická osoba.

2.2 Časové lhůty pro zmírňování závad ve sjízdnosti

V souladu s výše uvedenou legislativou je stanoveno, že zimní údržbou vozovek se podle stanoveného pořadí důležitosti zmírňují závady, vznikající povětrnostními vlivy a podmínkami za zimních situací ve sjízdnosti komunikací, jak je uvedeno v § 41 odst. 1 prováděcí vyhlášky č. 104/1997 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Pro účely plánu zimní údržby vycházející rovněž z prováděcí vyhlášky č. 104/1997 Sb., ve znění pozdějších předpisů se silnice rozdělují podle pořadí důležitosti takto:

- I. pořadí – silnice I. třídy a dopravně důležité silnice II. třídy.
- II. pořadí – zbývající úseky silnic II. třídy nezařazené do I. pořadí a dopravně významné silnice III. třídy.
- III. pořadí – ostatní silnice III. třídy nezařazené do II. pořadí a udržované zpravidla jen pluhováním.
- Neudržované – silnice, na nichž není provozována osobní linková doprava a na nichž není nutno pro jejich nepatrný dopravní význam vykonávat zimní údržbu.

O zpracování plánu zimní údržby pro místní komunikace, opět podle prováděcí vyhlášky č. 104/1997 Sb., ve znění pozdějších předpisů rozhodují obce podle velikosti obce a dopravního významu místních komunikací. Pokud obce rozhodnou o zpracování plánu zajištění sjízdnosti místních komunikací I. až III. třídy, přihlédnou k tomuto pořadí důležitosti:

- I. pořadí – rychlostní a sběrné místní komunikace s hromadnou veřejnou dopravou a linkovou osobní dopravou, příjezdové místní komunikace ke zdravotnickým zařízením a další významné místní komunikace.
- II. pořadí – sběrné místní komunikace nezařazené do I. pořadí a důležité obslužné místní komunikace.
- III. pořadí – ostatní obslužné místní komunikace.
- Neudržované – místní komunikace, na nichž není třeba vykonávat zimní údržbu z důvodu dopravní bezvýznamnosti (na tuto skutečnost obec upozorní uživatele způsobem v místě obvyklým).

Okamžitě po zjištění vzniku závady ve sjízdnosti dálnice nebo silnice nesmí doba do výjezdu prvních mechanismů ke zmírnění této závady v zimním období přesáhnout 30 minut. Mimo zimní období se závady ve sjízdnosti zmírňují v nejkratší možné době. Zimní období je legislativně stanoveno na dobu od 1. listopadu do 31. března následujícího roku.

Stanovené časové lhůty od výjezdu posypových mechanismů, ve kterých musí být zajištěna sjízdnost komunikací je dle § 45 prováděcí vyhlášky č. 104/1997 Sb., ve znění pozdějších předpisů určena:

- Na dálnicích a rychlostních komunikacích – do 2 hodin.
- Na silnicích a zařazených do I. pořadí – do 3 hodin,
II. pořadí – do 6 hodin,
III. pořadí – do 12 hodin.

Tyto uvedené lhůty platí pro dálnice a silnice zařazené do I. pořadí po celých 24 hodin, pro silnice zařazené do II. a III. pořadí po dobu stanovenou v plánu zimní údržby.

Pro sjízdnost místních komunikací I. až III. třídy, za které zodpovídá obec, jsou lhůty pro zmírňování závad stanoveny takto:

- I. pořadí – do 4 hodin,
- II. pořadí – do 12 hodin,
- III. pořadí – po ošetření komunikací I. a II. pořadí, nejpozději však do 48 hodin.

2.3 Technologie posypu

Pro zajištění sjízdnosti vybraných pozemních komunikací, si technologický postup údržby určují jednotlivé obce zvlášť, dle svých potřeb a možností. K odklízení sněhové pokrývky je primárně využíván mechanický způsob údržby, jelikož použití posypu či postřiku chemickými rozmrazovacími materiály do vrstvy čerstvě napadeného sněhu vyšší než 3 cm bez předchozího pluhování je neúčinné. Při použití technologie využívající chemických rozmrazovacích materiálů se používá chlorid sodný vhodný pro aplikaci při teplotách kolem -5°C , nebo chlorid vápenatý pro teploty nižší. Posyp zdršňovacími materiály se používá na komunikacích, které nejsou udržovány pomocí chemických rozmrazovacích materiálů na dopravně důležitých místech v celé šířce komunikace.

Dle vlastního rozhodnutí si obce rozdělují způsob technologie zimní údržby a k němu náležící komunikace do dvou kategorií. První je preventivní posyp provádějící se ještě před vznikem ledového povrchu na komunikacích. Druhou kategorií je likvidační posyp, který se provádí až při vzniku náledí, případně sněhové pokrývky. Vše je prováděno chemickými posypovými materiály, nebo postřikem roztoků těchto materiálů.

3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

V dnešní době, kdy je komerční trh zaplaven nejrůznějšími produkty GIS (geografické informační systémy), které poskytují jednotlivým uživatelům především možnosti správy dat, optimalizaci tras a s tím spojenou i úsporu jak času, tak i financí, je pochopitelné, že tento trend zasáhl i zimní údržbu.

Pro řadu obcí a technických služeb jím příslušných je jediným dokumentem pomáhajícím při výkonu zimní údržby pouze plán zimní údržby s výčtem pozemních komunikací a jejich zařazení do dílčích tříd dle pořadí důležitosti. V lepším případě je přiložena mapa, nebo plán s grafickým znázorněním. Takovýto podklad je ovšem dostačující zejména pro menší obce s malým množstvím komunikací a větší obce a dnes již všechny správy a údržby silnic pro jednotlivé kraje využívají produkty GIS.

Tyto aplikace nabízejí především jednoduchou správu dat v digitální podobě, jejich přehlednou vizualizaci, a v neposlední řadě i GPS lokalizaci vozidel zimní údržby. Tyto zmíněné aspekty jsou již zcela standardním vybavením každého balíku nabízených programů, obohacených i o spoustu dalších aplikací. Velmi obvyklou službou je dodání upraveného software na míru konkrétnímu zákazníkovi.

Zejména větší města využívají GIS i pro vizualizaci dat veřejným uživatelům pomocí svých internetových stránek, či vlastních mapových portálů. Kdokoliv si může tedy snadno vyhledat, které komunikace jsou v zimě udržovány a které ne, jejich jednotlivé pořadí dle významnosti atd.

3.1 Optimalizace tras zimní údržby

Jak již bylo zmíněno, GIS produkty zaměřené na zimní údržbu tedy nabízejí především správu dat, či vizualizaci. V čem se ovšem skrývá stále velký potenciál, jsou optimalizační analýzy.

Pro celou škálu optimalizačních problémů, ve kterých jde o nalezení množiny cest pro skupinu vozidel, vyjíždějících z jednoho, nebo více počátečních bodů a zásobujících určený počet míst geograficky situovaných na mapě s minimalizací nákladů, úsporou času a uskutečnění všech cest, které začínají i končí v jednom místě, se používá označení VRP (Vehicle Routing Problem). [5] Těchto optimalizačních úloh je celá řada, ať už berou v potaz kapacitu zásobovacích vozidel, skladů atd.

Řada GIS softwarů disponuje možnostmi práce s těmito úlohami ve svých síťových analýzách, ať už to s velmi jednoduchými a základními, nebo naopak umožňuje uživateli jako např. ESRI ve svých produktech ArcLogistic i ArcGIS pokročilý výběr z velké škály typových optimalizačních úloh. ArcGIS 10 nabízí extenzi Network analyst, ve které se dá zpracovávat 5 různých typů analýz:

- New Route (nejkratší trasa),
- New Service Area (analýza obsluhových oblastí),
- New Closest Facility (analýza nejbližšího obslužného místa),

- New OD Cost Matrix (matice nákladů – náklady pro přesun zboží mezi dvojicí bodů v síti),
- New Vehicle Routing Problem (obslužnost bodů více vozidly).

V dnešní době kdy jsou úspory nákladů a financí na prvních místech i s rostoucí kvalitou techniky se tedy proto GIS a síťové analýzy jeví jako nejsnadnější řešení k prolomení těchto požadavků. Avšak bylo osloveno dvacet největších měst České republiky, zda využívají GIS a pokud ano, tak k jakému účelu. Ze získaných odpovědí nebyla ani jedna kladná na otázku, zda využívají jakékoliv optimalizační analýzy pro plánování zimní údržby. (Tab. 1)

Tab. 1 Využití GIS ve vybraných městech ČR

Město	Používají GIS	Analýzy	Společnost
Praha	.	.	.
Brno	.	.	.
Ostrava	Ano	Ne	CDSw
Plzeň	Ano	Ne	Geovap
Olomouc	Ano	Ne	CDSw.
Liberec	Ano	Ne	Geovap
České Budějovice	Ano	Ne	CDSw
Hradec Králové	Ano	Ne	Position
Ústí nad Labem	Ano	Ne	CDSw
Pardubice	Ne	Ne	-
Havířov	Ne	Ne	-
Zlín	Ne	Ne	-
Kladno	.	.	.
Most	.	.	.
Karviná	Ne	Ne	-
Frýdek - Místek	Ne	Ne	-
Opava	Ano	Ne	.
Děčín	Ano	Ne	.
Karlovy Vary	.	.	.
Teplice	.	.	.

Pramen: Vlastní sběr

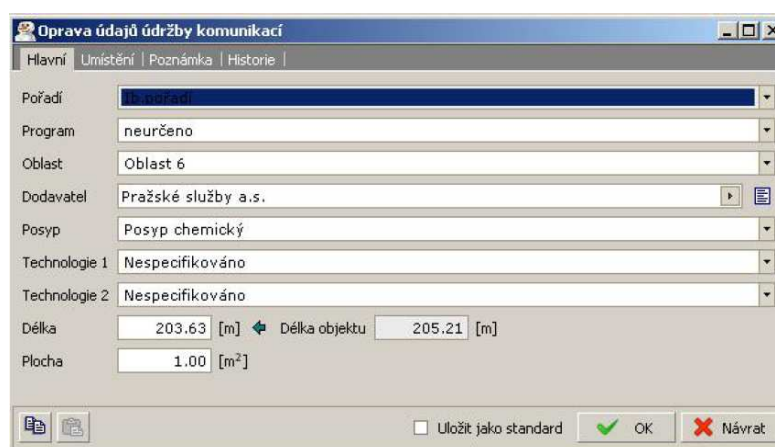
3.2 GIS aplikace pro zimní údržbu

Na dnešním trhu orientujícím se na zimní údržbu jsou nabízeny produkty jak v desktopovém, tak i také serverovém provedení. Trhu dominují společnosti CDSw – City Data Software, s. r. o., Geovap, s. r. o., i postupně se rozvíjející Position s. r. o.

3.2.1 CDSw – City Data Software, spol. s r. o.

Společnost CDSw se zabývá tvorbou vlastních geografických informačních systémů, jejich aplikací, sběrem a údržbou geografických dat. Firma se zaměřuje především na řešení problematiky správy obecního majetku.

Jedním z nabízených produktů je i systém pro správu tras zimní údržby komunikací (ZUK). Jak je uvedeno v uživatelské příručce, program poskytuje celkové informace o údržbě komunikací rozdělených na vozovky a chodníky. Mj. umožňuje vytvářet a editovat trasy udržovaných komunikací s ohledem na pořadí důležitosti údržby. Předem jsou uživateli připraveny databázové záznamy pro několik pasportních vrstev i s předdefinovanými číselníky pro uchovávání informací například o pořadí důležitosti komunikací, způsobu posypu, technologii údržby atd. (Obr. 1)



Obr. 1 Správa databázových číselníku v systému ZUK.

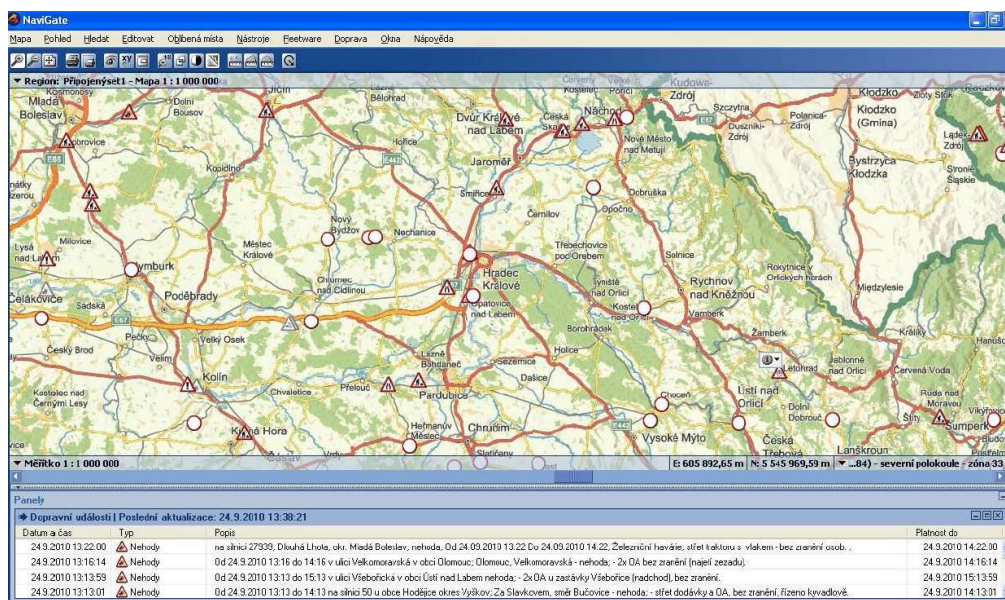
Aplikace nabízí rovněž velmi intuitivní prostředí pro správu dat a pokročilé možnosti editace liniových vrstev společně s databázovým záznamem. V režimu tvorba ekvidistanty lze vytvářet liniové objekty v zadané vzdálenosti a zvolené straně od vybraného prvku. Což umožňuje například snadnou editaci chodníků podél vozovky. K ověření vazby mezi databázovým záznamem a grafickým objektem, zajištění korektnosti údajů v datovém souboru a k celkové údržbě dat zde slouží tzv. křížový test.

Produkty společnosti CDSw jsou nejrozšířenějšími geografickými informačními systémy pomáhajícími technickým službám jednotlivých měst při zimní údržbě. Přispívá k tomu zcela určitě i fakt, že nabízí upravené produkty přímo na míru, které jsou posléze nejjednodušším řešením pro služby pověřené zimní údržbou.

3.2.2 Position s. r. o.

Firma Position nabízí roční licenci mapových podkladů NAVTEQ ČR a další služby spojené s monitorováním a vyhodnocováním provozu vozidel.

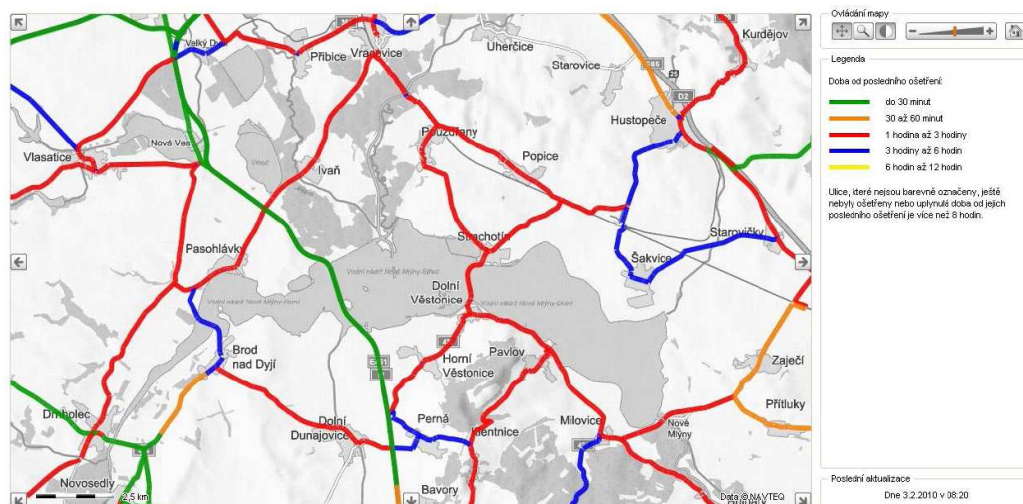
Jak uvádí ve svých materiálech, jednou z mnoha aplikací je modul aktuálních dopravních informací pro software NaviGate. K tomuto software jsou připraveny další možnosti rozšíření funkcí v podobě provozního setu, kde zahrnuje připojení databáze silniční sítě, možnost vyhledávání úseků podle čísla komunikace a vytvoření témat pro rychlé zobrazení (Obr. 2).



Obr. 2 Modul aktuálních informací pro software NaviGate.

Nabízí také intranetové aplikace Street Control a vizualizaci tras zimní údržby s rozlišením pořadí důležitosti i technologií postupu. Street Control identifikuje ošetření úseku komunikace nad daty ze systému sledování vozidel Fleetware on Navigate s ohledem na zadané informace jako např. posyp, plužení, kombinace obojího atd. Zároveň také s barevným rozlišením aktuálně zobrazuje komunikace podle doby od posledního ošetření dle určených časových intervalů (obr. 3). Možná je i vizualizace meteorostanic, přenosného dopravního značení, podpora tisku ve vybraném měřítku a mnoho dalších doplňujících možností.

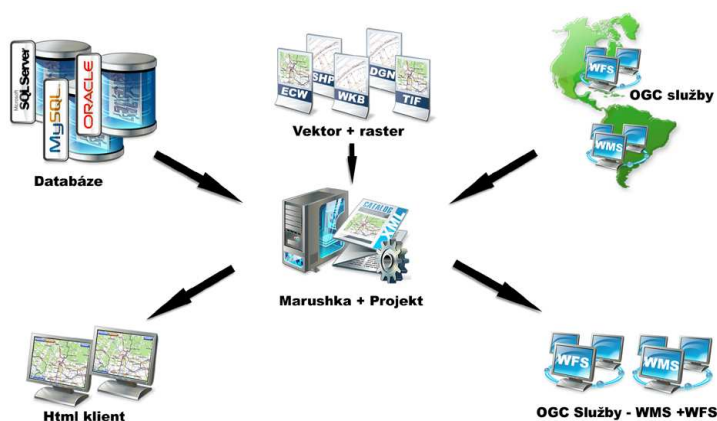
Tyto služby spojené s monitorováním a vyhodnocováním provozu vozidel zimní údržby jsou zaměřeny především ani ne tak příliš na správu dat či dokonce optimalizační analýzy, ale především pro názornou přehlednou vizualizaci dat a procesů. Vzhledem k podkladovým datům je vhodná zejména pro Správy údržby silnic a větší města s početnou výbavou vozidel provádějící zimní údržbu.



Obr. 3 Vizualizace komunikací dle posledního ošetření v systému Fleetware on Navigate.

3.2.3 Mapový server Marushka®

Mapový aplikační server Marushka® od společnosti Geovap, spol. s r. o. je postaven na komponentové technologii GeoStore® v prostředí NET. Pracuje s daty z neomezeného počtu datových skladů s podporou široké škály vektorových i rastrových formátů, databázovými datovými sklady i webovými službami OGC (Open Geospatial Consortium) standardu WMS (Web Map Service) a WFS (Web Feature Service). Mapová kompozice poskytuje koncovému uživateli interaktivními možnostmi při ovládání mapy, dynamickou legendou, zobrazení popisných informací, nebo export do různých vektorových formátů. Mapový server také poskytuje možnost publikace dat pomocí webových služeb WMS A WFS. [4]



Obr. 4 Struktura mapového serveru Marushka® [4]

V konfrontaci se zimní údržbou je tento mapový server velmi přehledným nástrojem pro vizualizaci a poskytování informací o zimní údržbě široké veřejnosti, jako je tomu například u statutárního města Liberec. Město pomocí tohoto mapového portálu umožňuje uživatelům v sekci pasport komunikací ukázat, které komunikace, chodníky,

parkoviště, přechody pro chodce, schody a zastávky jsou v zimním období udržované a které ne. Jednotlivé informace jsou barevně odlišeny pro snadnou identifikaci. Rovněž je uživateli poskytnuta možnost vyhledávání požadované adresy.



Obr. 5 Vizualizace informací o zimní údržbě města Liberec pomocí portálu Marushka® [4]

3.3 Technické služby města Olomouce, a. s.

Technické služby města Olomouce, a. s. (TSmO) jsou organizací odpovědnou za sjízdnost udržované silniční sítě a chodníků na území statutárního města Olomouce. V současné době mají pro výkon zimní údržby komunikací zpracovaných třicet tras dle operačního plánu zimní údržby, schváleného Magistrátem města Olomouce. Těchto 30 tras je rozdělených do jednotlivých oblastí města v závislosti na pořadí důležitosti komunikací. [2]

Trasy číslo 1, 2 a 3 jsou určeny těžkým sypačům, které provádí údržbu po komunikacích zařazených do prvního pořadí důležitosti. Tyto trasy mají přesně definované pořadí průjezdnosti jednotlivými ulicemi dle operačního plánu.

Na zbývajících trasách druhého (trasa č. 4) a třetího (trasy č. 5 – 30) pořadí provádějí zimní údržbu menší sypače dle rozhodnutí dispečera. K těmto trasám jsou zpracovány plány komunikací s vyznačenými ulicemi, které musí být ošetřeny. (viz Příloha 1 – 4) Zde tedy přímo záleží na rozhodování jednotlivých řidičů jakou trasu si zvolí a v jakém pořadí komunikace projedou.

Veškerá technika potřebná k zimní údržbě se nachází v depu na ulici Zamenhofova 783/34, zde vozidlům zimní údržby trasy začínají i končí. Zimní údržbu na státních a krajských komunikacích provádí Správa silnic Olomouckého kraje.

TSmO nevyužívají žádnou speciální aplikaci GIS zaměřenou na zimní údržbu, pouze pro správu dat je používán produkt od společnosti CDSw.

4 POUŽITÉ METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ

4.1 Použité programy

K práci s daty, vizualizaci a dílčím úkolům byl využíván software ArcGIS 10s licencí ArcInfo. Pro optimalizace byla používána jeho extenze Network Analyst. K převedení liniových vrstev na vrstvy bodové bylo použito extenze X Tools Pro 7.1, volně stažitelné z internetu. Vyžadována je pouze registrace emailu. [9]

4.2 Použitá vstupní data

Jako topografická data byl použit shapefile „road“ od společnosti CEDA (Central European Data Agency, a. s.) z datové sady StreetNet CZE, verze 0910. Tato vrstva obsahuje síť komunikací České republiky s důležitými atributy pro tvorbu síťových analýz (jednosměrnost, zákaz vjezdu, typ komunikace...). (Obr. 6)

Prvek	Kód prvku	Atribut	Kód atributu	Hodnota
Úsek komunikace	4110	Kód prvku	FCC	4110 - silniční úsek 4130 - trajekt
		ID prvku	Road_ID	Jedinečné ID prvku
		Název ulice	ON	Název ulice nebo veřejného prostranství
		Směr dopravního provozu	DF	1 - provoz povolen v obou směrech 2 - provoz povolen pouze v negativním směru digitalizace úseku komunikace 3 - provoz povolen pouze v pozitivním směru digitalizace úseku komunikace 4 - provoz zakázán v obou směrech
		Typ komunikace	FW	1 - dálnice, silnice pro motorová vozidla 2 - ostatní víceproudé komunikace 3 - jednoproudá komunikace 4 - kruhový objezd 6 - parkoviště 7 - vícepodlažní garáže 10 - nájezd, sjezd 11 - obslužná komunikace 12 - vjezd/výjezd parkoviště 13 - vjezd/výjezd z nákupní/servisní zóny 14 - pěší zóna 15 - chodník, komunikace určená jen pro chodce 17 - speciální dopravní útvar 20 - schodiště 21 - pasáž (průchod pro chodce)

Obr. 6 Část výpisu atributů shapefilu „road“ z datové sady StreetNet CZE, verze 0910

Tematická data byla poskytnuta od TSmO. Byly získány plány tras zimní údržby v analogové podobě (viz Příloha 1 – 4) nesoucí informace o čísle trasy a pořadí důležitosti jednotlivých komunikací. Zároveň bylo umožněno projetí zájmových tras s vybraným řidičem vozidlem zimní údržby za účelem zmapování stávajícího stavu pořadí průjezdnosti komunikací příslušné trasy. Trasy byly v průběhu jízdy zakreslovány do papírových plánů komunikací a následně převedeny do formátu SHP (Shapefile). Na závěr byly využity k porovnání stávajícího a optimalizovaného stavu. Všechna data, ať

již získaná od společnosti CEDA, nebo i všechna nově vytvořená jsou v souřadnicovém systému S – JTSK.

4.3 Zájmová území

Za zájmová území byly vybrány čtyři stávající trasy TSmO. Důležitým aspektem při výběru byla podmínka, aby se trasy od sebe alespoň zdánlivě lišily svými vlastnosti, jako například hustotou silniční sítě, množstvím jednosměrných komunikací a polohou vzhledem k centru města. (Tab 2). Dle těchto požadavků byly ze strany TSmO doporučeny trasy č. 6 v Nových Hodolanech, trasa č. 7 na Tabulovém Vrchu, trasa č. 8 na Nové Ulici a trasa č. 9 na Neředíně. (viz Příloha 1 – 4) Všechny tyto trasy se nachází na území města Olomouce a jsou zařazeny do třetí třídy důležitosti.

Tab. 2: Součet délek zájmových komunikací v jednotlivých trasách

	trasa č. 6	trasa č. 7	trasa č. 8	trasa č. 9
km	9,57	5,83	10,59	8,62

Zdroj: data StreetNet CZE, verze 0910 (CEDA)

4.4 Postup zpracování

Jelikož se zimní údržba komunikací provádí v souladu s vypracovaným operačním plánem, který vychází ze zákona č.13/1997 Sb., o pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů a vyhláškou Ministerstva dopravy a spojů č. 104/1997 Sb., kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích, v platném znění, bylo nutné se s touto legislativou, ale i spoustu dalších materiálů zabývajících se zimní údržbou seznámit a nastudovat si je.

Rovněž bylo zapotřebí nastudovat si manuál k extenzi Network Analyst [3], která je součástí softwaru ArcGIS 10 a osvojit si práci v tomto prostředí, v němž byly prováděny optimalizační analýzy jednotlivých tras. Na základě tohoto seznámení se s možnostmi ArcGIS Network Analyst byla pro nalezení neoptimálnější trasy v závislosti na délce zvolena metoda problému obchodního cestujícího, která je více rozepsaná v kapitole 4.5 Metody a algoritmy.

Aby bylo možné využít této metody, která potřebuje jako vstupní data bodové vrstvy, na rozdíl od metody čínského listonoše, kde je třeba vstupních dat liniových (viz kapitola 4.5 Metody a algoritmy), bylo třeba převést potřebné linie na body. Dle velkého množství vyzkoušených možností bylo zvoleno rozmezí bodů po dvaceti a deseti metrech.

Do průběhu jednotlivých analýz vstupovaly trasy nejprve kompaktně celé, ovšem z důvodu neuspokojivých výsledků, kdy vozidlo zimní údržby mělo najet velké množství kilometrů navíc, bylo přistoupeno na rozdělení tras do logických úseků dle doporučení

řidičů TSmO a pro tyto části byly posléze prováděny analýzy zvlášť. (Obr. 7) Následně byly nejlepší výsledky jednotlivých částí dané trasy spojeny v jednu linii a upraveny pro vizualizaci v prostředí Google Earth.

4.5 Metody a algoritmy

Bohužel algoritmus, který by vypočítal vozidlu zimní údržby nejkratší možnou trasu po zadaných komunikacích a tím minimalizoval náklady spojené s délkou průjezdní trasy, ArcGIS Network Analyst nenabízí. Takovýto problém řeší úloha z teorie grafů známá pod výrazem „*Problém čínského listonoše*“. Název úlohy je odvozen od problému, kdy listonoš musí zajít na poštu, vyzvednout dopisy a obejít s nimi všechny ulice města a nakonec se vrátit zpět na poštu. Musí přitom urazit minimální vzdálenost. Z matematického hlediska se jedná o graf reprezentující město, kde hrany grafu představují ulice a uzly odpovídají křižovatkám. Hrany jsou ohodnoceny kladnými čísly, které odpovídají délce ulic. [1]

Jestliže v grafu existuje tzv. eulerovský tah, což je tah, který obsahuje každou hranu grafu právě jednou, pak tento tah je optimálním řešením úlohy. Pokud v grafu tento tah neexistuje, pak listonoš musí projít některými ulicemi vícekrát, to znamená, že se musí minimalizovat součet délek opakovaně navštívených ulic. [7]

Místo této metody bylo zvoleno nalezení nejlepší možné trasy metodou zvanou „*Problém obchodního cestujícího*“, kterou již ArcGIS Network Analyst obsahuje. Tato metoda se snaží nalézt neoptimálnější možnou trasu na rozdíl od problému čínského listonoše nikoliv po liniích, ale po bodech. Vychází z modelového příkladu, kdy má obchodní cestující za úkol navštívit každé zadané město a na konci své cesty se musí vrátit zpět do počátečního města za předpokladu, že jednotlivá města prochází tak, aby projitá vzdálenost byla minimální. [1]

Problém obchodního cestujícího patří do množiny NP-úplných problémů. To je třída problémů, pro něž se zatím nepovedlo najít polynomiální algoritmus a jejichž časová složitost je pravděpodobně exponenciální. Prvky z této třídy jsou vzájemně provázány tak, že pokud by existoval polynomiální algoritmus pro jeden z nich, bude existovat polynomiální algoritmus pro všechny ostatní. Obecně se však věří, pro tuto třídu žádný polynomiální algoritmus neexistuje. Z tohoto vyplývá, že při každém pokusu vyřešit problém obchodního cestujícího dle zadání roste exponenciálně doba výpočtu s velikostí problému. [8]

5 OPTIMALIZAČNÍ ANALÝZY

5.1 Příprava dat

Pro vytvoření samostatných vrstev tras byly k jednotlivým komunikacím, na kterých se provádí zimní údržba, do shapefilu „road“ z datové sady StreetNet CZE, verze 0910 přidány podle plánů zimní údržby (viz *Příloha 1 – 4*) atributy nesoucí číslo trasy. Podle tohoto atributu byly komunikace vybrány pomocí funkce „Select by Attributes“ a následně oříznuty od všech ostatních komunikací funkcí „Clip“. Tímto postupem tedy vznikly čtyři nové vrstvy (trasa6, trasa7, trasa8, trasa9), obsahující pouze komunikace vybraných tras, na nichž se provádí zimní údržba.

Jak je zmíněno v kapitole 4.3 Postup zpracování, z důvodu neuspokojivých výsledků při vstupu celých tras do optimalizačních analýz, byly i tyto vrstvy (trasa6, trasa7, trasa8, trasa9) ještě následně rozděleny do menších logických úseků (Obr. 7). Komunikace jednotlivého úseku byly vybrány pomocí nástroje „Select Features by Rectangle“ a vyexportovány do nových vrstev. Trasu č. 7 nebylo nutno dle své charakteristiky dělit do menších částí. Vzniklo tedy deset nových liniových vrstev s vymezením úseků, které následně budou samostatně vstupovat do analýz.



Obr. 7 Barevně rozlišené rozdělení trasy č. 9 do logických úseků

Každá tato vrstva byla v ArcCatalogu duplikována nakopírováním do nové souborové geodatabáze a následně byly komunikace u těchto nově nakopírovaných vrstev spojeny v editoru funkcí „Merge“. Došlo tak k rozdílu ve struktuře liniových dat. Zatímco u prvních deseti vrstev byl záznam v atributové tabulce ke každé komunikaci mezi křižovatkami a tudíž byl každý úsek komunikace brán jako samostatná linie. U vrstev editovaných funkcí „Merge“ došlo ke spojení všech komunikací v jednu jedinou linii. Pro

přehlednost bylo k názvům těchto vrstev přidáno označení „_Merge“. Rozdíl mezi těmito vrstvami je patrný při pozdějším převodu liniových vrstev na vrstvy bodové (kapitola 5.1.2 Převod linií na body). Všechny vrstvy jsou automaticky ukládány do vytvořených souborových geodatabází. Nakonec je tedy připraveno dvacet liniových vrstev pro pozdější analýzy. Pro lepší přehlednost si tyto data v práci označme za „primární vrstvy“.

Tab. 3 Grafický přehled primárních vrstev

Trasa č. 6	<i>úsek A</i>	<i>úsek A_Merge</i>
	<i>úsek B</i>	<i>úsek B_Merge</i>
	<i>úsek C</i>	<i>úsek C_Merge</i>
Trasa č. 7	<i>trasa7</i>	<i>trasa7_Merge</i>
Trasač. 8	<i>úsek A</i>	<i>úsek A_Merge</i>
	<i>úsek B</i>	<i>úsek B_Merge</i>
	<i>úsek C</i>	<i>úsek C_Merge</i>
Trasa č. 9	<i>úsek A</i>	<i>úsek A_Merge</i>
	<i>úsek B</i>	<i>úsek B_Merge</i>
	<i>úsek C</i>	<i>úsek C_Merge</i>

Aby po převodu dat nedocházelo k situaci, že při rozmístování bodů podél linie nebude vytvořen bod na úplném konci některé komunikace, byly pro každou trasu a její úsek do nově vytvořených bodových vrstev naeditovány tyto koncové body. Zároveň byl do každé z těchto vrstev vytvořen počáteční a koncový bod pro pozdější analýzy. V tomto případě tedy bylo vytvořeno deset nových bodových vrstev rovněž připravených pro použití v optimalizačních analýzách, dále v textu budou označovány pojmem „doplňkové body“.

5.1.1 Tvorba síťového datasetu (Network Dataset)

K provedení jakékoliv síťové analýzy je v ArcGIS 10 nutné nejprve vytvořit Network Dataset. Ten se vytváří v ArcCatalogu nad vybranou liniovou třídou prvků. Po kliknutí pravým tlačítkem myši na vybranou třídu prvků se zobrazí možnost „New Network dataset...“, kterou je třeba zvolit. Následně je uživateli nabídnuto nastavení několika parametrů potřebných pro jeho vytvoření.

Dále je uvedeno nastavení parametrů zvolených pro tuto práci. Po vyplnění názvu nového Network Datasetu, potvrzení defaultních nastavení týkajících se otáčení, konektivity a výškového nastavení se automaticky do dalšího okna se speciálními atributy

načtou jako omezení jednosměrky. Ty jsou označeny pod názvem „ONEWAY“ a definovány atributem „DF“. Podle orientace záznamu třídy prvků jsou jednosměrky označeny písmeny TF, příp. FT podle směru, v jakém je možno jednosměrku projíždět (Obr. 6). Stále v tomtéž okně se speciálními atributy je nutno zadat alespoň jeden tzv. cenový atribut (cost attribute). Tento parametr rozhoduje o tom, v jaké závislosti budou analýzy počítány. Nejčastěji se volí čas, nebo délka. V tomto případě byla zvolená délka komunikací označená názvem „LENGTH“, čímž bude po provedení analýzy brána trasa s nejkratší délkou jakou neoptimálnější. Časová složka je tedy v tomto případě zanedbána, jelikož se vychází s konstantní rychlostí vozidla po celé délce trasy. V posledním kroku nastavení je třeba zvolit pod možností „Directions...“ a následně „Name“ užívání názvů ulic. Ty jsou definovány pod názvem atributu „ON“.

Takto nově vytvořený Network dataset se umístil do stejné složky, jako se nachází použitá třída prvků, v tomto konkrétním případě liniová vrstva komunikací „road“. Spolu s Network Datasetem se zároveň vytvořila bodová vrstva „road_ND_Junctions“ což je vrstva křižovatek silniční sítě.

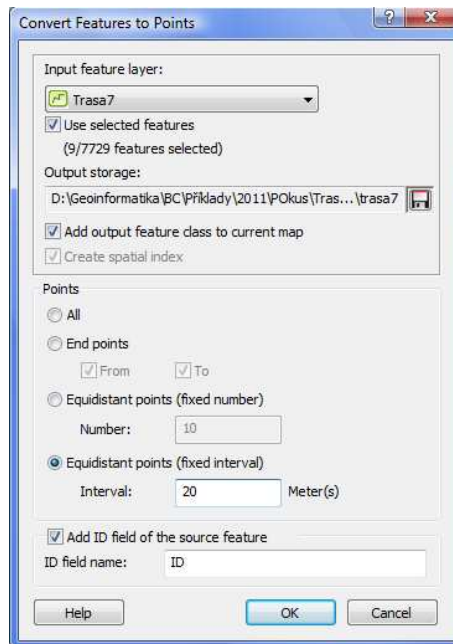
5.1.2 Převod linií na body

Z důvodů popsaných již v kapitole 4.5 Metody a algoritmy bylo potřeba převést liniové vrstvy na vrstvy bodové.

Bylo vyzkoušeno několik možností, jaké rozmístění bodů na liniích použít. Zkoušeno bylo například využít pouze body reprezentující křižovatky, nebo tyto křižovatky společně se středovými body jednotlivých ulic. Při těchto pokusech ovšem docházelo k velkému množství neprojetých úseků na požadovaných komunikacích. K těmto nedostatkům docházelo z důvodu odlišnosti dvou již zmíněných úloh. Více se tomuto problému věnuje kapitola 5.3 Úprava optimalizačních tras.

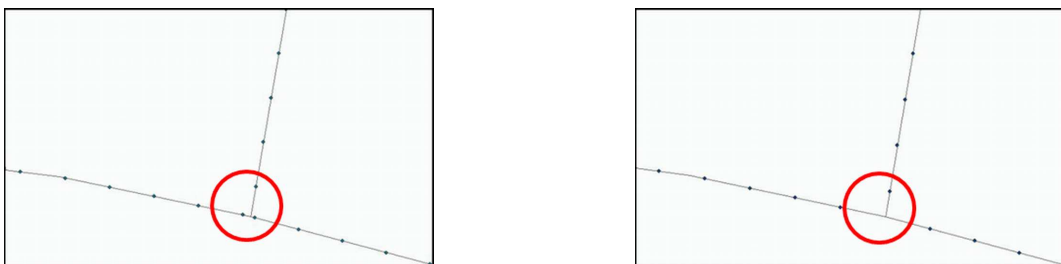
Jako optimální možnost nahrazení liniových vrstev body, se ukázalo být převedení celých linií na body v rozmezí každých deseti a každých dvaceti metrů. Vyzkoušeno bylo i rozmezí po jednom metru. V tomto případě se ovšem jednalo o příliš velké množství bodů, které výpočetní technika nedokázala zvládnout.

K převodu byla využita extenze X Tools Pro 7.1. Tento balík nástrojů je volně dostupný na internetu a po instalaci se přidá mezi ostatní extenze softwaru ArcGIS10 do sekce „Toolbars“. Z mnoha funkcí nabízených v tomto balíčku bylo využito „Convert Features To Points“. Zde jsou po zvolení vstupní vrstvy a zvolení umístění vrstvy nově vytvořené, nabídnuty možnosti jakým způsobem má dojít k převodu. Zvolena byla poslední možnost „Equidistant Points“, kam se zadává rozmezí bodů v metrech. V tomto případě tedy 10 m a 20 m.



Obr. 8 Nástroj Convert Features To poits v extenzi X Tools Pro 7.1.

Převedeno bylo všech dvacet liniových vrstev. Mezi vrstvami se samostatnými záznamy ke každé komunikaci a vrstvami spojených komunikací v jednu pomocí funkce „Merge“ je patrný rozdíl v rozložení bodů. Zatímco u prvního typu vrstev dochází k rozmístování bodů v rozmezí 10 m a 20 m od každé křižovatky k další křižovatce. U vrstev spojené funkcí „Merge“ je rozmístování bodů zahájeno na začátku linie a ukončeno na jejím konci. Křižovatky v tomto případě nejsou brány v potaz. (Obr. 9)



Obr. 9 Rozdíl v rozložení bodů po převedení dat z liniových na bodové v závislosti na použití liniových vrstev spojených funkcí „Merge“.

5.2 Analýzy optimalizace tras

K vypracování optimalizačních tras vozidel zimní údržby byl v prostředí ArcMap použit typ síťové analýzy „New Route“, která počítá nejkratší možnou trasu mezi zadanými body po síti komunikací (Network Datasetu). Pokud není extenze Network

Analyst automaticky načtena, je třeba ji spustit následujícím postupem: Tools → Extensions → Network Analyst. Vstupními daty jsou tedy Network Dataset a libovolný počet bodových vrstev, které mohou být následně definovány jako požadované zastávky (Stops), nebo naopak jako bariéry (Barriers), které zakazují vozidlu projetí v tomto bodě.

Do analýz postupně vstupovala vždy každá z dvaceti „primárních vrstev“ společně s příslušnými „doplňkovými body“, načtením přes „Load Locations“. V tomto nastavení byly zachovány všechny předem nadefinované parametry. U parametru použití geometrie nebylo třeba vyplňovat požadovanou toleranci, jelikož se všechny vstupní body nacházejí přímo na komunikacích.

Po načtení všech bodů je nezbytné upravit pořadí bodů na prvním a posledním místě. Počátečním bodem je definován vždy bod, který bude vstupovat do analýzy jako první, tudíž požadovaný začátek trasy. Naopak posledním bodem bude takový, ve kterém požadujeme, aby analýza skončila.

Posledním potřebným krokem před spuštěním analýzy je nastavení parametrů v „Route Properties“. Zde se pod záložkou „Analysis Settings“ automaticky nadefinují dle vytvořeného Network Datasetu jednosměrky jako překážky a délka jako odporový faktor. Zaškrtnutím možnosti „Reorder Stops To Find Optimal Route“ a „Preserve First, Last Stop“ se povolí libovolná změna pořadí bodů při výpočtu trasy, avšak první a poslední bod zůstane nezměněn. Otáčení bylo povoleno na křižovatkách a tzv. mrtvých koncích (Death Ends). Za jednotky byly zvoleny metry a povoleno bylo ignorování neplatných bodů. Výsledný typ vrstvy byl ponechán defaultně na „True Shape with Measures“.

Tímto způsobem byly provedeny všechny analýzy jednotlivých úseků. Ke všem těmto analýzám byl použit vytvořený Network Dataset „road_ND“.

5.3 Úprava optimalizačních tras

Výsledkem každé analýzy byla vymodelovaná trasa, procházející všemi zadanými body v různém pořadí, začínající a končící ovšem v již předem definovaných bodech. Tyto trasy byly vyexportovány do nové souborové databáze jako liniové vrstvy. Jak již bylo zmíněno v kapitole 5.1.2 Převod linií na body, i po použití metody převodu linií na body v rozmezí po deseti a dvaceti metrech docházelo k situaci, kdy byly navštíveny všechny zadané body, nikoliv však komunikace. Po editaci těchto úseků bylo nutno spojit dílčí části jednotlivých tras dohromady, tak aby vznikly čtyři výsledné trasy.

5.3.1 Dodatečná editace

Problém s neprojetými úseky se vyskytoval kvůli zmiňované odlišnosti problému čínského listonoše a obchodního cestujícího (kapitola 4.5 Metody a algoritmy). Klasickým příkladem je situace, kdy vozidlo zimní údržby dojede do jednoho z bodů a místo aby pokračovalo do dalšího nejbližšího bodu, vyhodnotí situaci tak, že je pro něj výhodnější se v tomto bodu otočit, navštívit další jiné body a následně se k neprojetému

bodu vrátí z opačné strany. Tímto vznikne neprojetý úsek mezi dvěma body o velikosti deseti, nebo dvaceti metrů, dle typu rozložení bodů. K této situaci dochází většinou v blízkosti křižovatek, přibližně dvakrát až třikrát u každé části jednotlivých tras.



Obr. 10 Neprojeté úseky u vybrané části trasy č. 6 s body v rozmezí dvaceti metrů.

Tyto nepřesnosti byly vyřešeny dodatečnou, manuální editací vertexů. V editoru byly na linii z jedné strany vynechaného úseku podle potřeby přidány nové vertexy a ty byly posunuty k protilehlému bodu neprojetého úseku. Přesné napojení zajišťovalo využití snappingu. Tímto se linie protáhla vždy až ke křižovatce, aby se zamezilo otáčení vozidla uprostřed komunikace a zacelila se tak mezera neprojetí vozidla zimní údržby. Ve výsledných délkách tras jsou tyto protažené úseky zahrnuty.

5.3.2 Napojení dílčích úseků tras

K finálnímu vytvoření čtyř optimalizovaných tras bylo třeba spojit všechny příslušné dílčí úseky v jednu trasu. Proto byly vždy vybrány úseky s nejkratší možnou variantou z vypočítaných výsledků k odpovídající trase (Tab. 4 – Tab. 7) a tyto úseky byly spojeny do nové společné vrstvy nástrojem „Merge“ z toolboxu „Data Management Tools“. Data v této nově vzniklé vrstvě byly na samotný závěr spojeny v editaci funkcí „Merge“ do jedné jediné linie. Takto byly připraveny všechny tři trasy (trasa6, trasa8 a trasa9) k pozdější vizualizaci. Trasa číslo 7 vzhledem k své charakteristice území, kde není tolik možností rozhodování jaké pořadí průjezdu zvolit, nebyla do jednotlivých logických úseků rozdělena, a proto ji nebylo již zapotřebí upravovat.

5.4 Vizualizace tras

Z důvodů velmi náročné kartografické vizualizace zapříčiněné například opakovaným projetím jednoho úseku komunikace vícekrát, byla zvolena jako nejnázornější varianta vizualizace v prostředí Google Earth.

Po dodatečném upravení čtyř finálních vrstev, byly nejprve všechny trasy převedeny nástrojem „Project“ obsaženým v toolboxu „Data Management Tools“ ze souřadnicového systému S – JTSK do souřadnicového systému WGS 1984. Převod byl nutný pro shodu s podkladovými daty aplikace Google Earth, která pracuje právě se souřadnicovým systémem WGS 1984.

Po předběžném vyzkoušení importu dat do Google Earth bylo zjištěno, že vizualizace probíhá opačným směrem. Od konce trasy k začátku. Proto byly ještě třeba všem vrstvám jednotlivě změnit orientaci nástrojem „Flip Line“ z toolboxu „Editing Tools“.

Konečně na závěr byly trasy nástrojem „Layer to KML“ obsaženým v toolboxu „Conversions Tools“ převedeny do formátu KMZ, potřebného pro otevření v prostředí Google Earth. Tímto jsou komukoliv poskytnuty pro přehlednou vizualizaci, potřeba je jen tyto soubory do programu Google Earth načíst.

6 VÝSLEDKY

Pro všechny čtyři trasy a jim příslušné úseky byly vypočítány následující hodnoty, uvedené v tabulkách.

Tab. 4 Výsledné hodnoty trasy číslo 6

Trasa č.6	Optimalizovaný stav						Stávající stav
	rozmezí 20 m			rozmezí 10 m			
	SUMA	Výpočet	Vynecháno	SUMA	Výpočet	Vynecháno	
A	6316,05	6316,05	-	6151,73	6151,73	-	6003,31
A "merge"	6151,73	6151,73	-	6151,73	6151,73	-	
B	3982,49	3902,49	20 + 20	3982,49	3942,49	10 + 10	4494,24
B "merge"	3982,49	3902,49	20 + 20	3982,49	3942,49	10 + 10	
C	6950,58	6870,58	20 + 20	7171,31	7131,31	10 + 10	7713,35
C "merge"	6950,58	6870,58	20 + 20	7171,31	7151,31	10	
Součet	17249,12			17305,54			18210,90
Součet "merge"	17084,80			17305,54			

Tab. 5 Výsledné hodnoty trasy číslo 7

Trasa č.7	Optimalizovaný stav						Stávající stav
	rozmezí 20 m			rozmezí 10 m			
	SUMA	Výpočet	Vynecháno	SUMA	Výpočet	Vynecháno	
A	11583,89	11483,89	20 + 20 + 20	11603,90	11543,90	10 + 10 + 10	10246,69
A "merge"	10431,25	10311,25	20 + 20 + 20	11914,63	11874,63	10 + 10	

Tab. 6 Výsledné hodnoty trasy číslo 8

Trasa č.8	Optimalizovaný stav						Stávající stav
	rozmezí 20 m			rozmezí 10 m			
	SUMA	Výpočet	Vynecháno	SUMA	Výpočet	Vynecháno	
A	5713,70	5713,70	-	5713,70	5713,70	-	5687,34
A "merge"	5731,70	5713,70	-	5713,70	5713,70	-	
B	11742,40	11676,80	12,8 + 20	11860,29	11820,29	10 + 10	10763,90
B "merge"	11145,84	11072,64	16,6 + 20	11770,67	11730,67	10 + 10	
C	5411,73	5371,73	20	5411,73	5391,73	10	5707,96
C "merge"	5676,46	5653,06	11,7	5676,46	5673,06	1,7	
Součet	22867,83			22985,71			22159,20
Součet "merge"	22535,99			23160,83			
Součet „mix“	22271,26			22896,10			

Tab. 7 Výsledné hodnoty trasy číslo 9

Trasa č.9	Optimalizovaný stav						Stávající stav
	rozmezí 20 m			rozmezí 10 m			
	SUMA	Výpočet	Vynecháno	SUMA	Výpočet	Vynecháno	
A	2372,16	2332,16	20	2372,16	2352,16	10	2526,40
A "merge"	2372,16	2332,16	20	2372,16	2352,16	10	
B	8746,64	8597,84	20 + 20 + 20 + 14,4	8732,63	8685,83	10 + 10 + 3,4	9102,34
B "merge"	9017,32	8930,52	20 + 20 + 3,4	8819,51	8772,71	10 + 10 + 3,4	
C	4534,22	4385,42	20 + 20 + 20 + 14,4	4534,22	4465,42	10 + 10 + 10 + 4,4	4243,59
C "merge"	4534,22	4385,42	20 + 20 + 20 + 14,4	4534,22	4465,42	10 + 10 + 10 + 4,4	
Součet	15653,01			15639,01			11744,52
Součet "merge"	15923,70			15725,89			

Pozn.: Výpočet – vypočtené hodnoty po analýze, Vynecháno – úseky, které nebyly projety po analýze, SUMA – konečná délka trasy včetně vynechaných úseků (byly následně editovány). Všechny uvedené hodnoty jsou v metrech. Tučně jsou zvýrazněny nejoptimálnější hodnoty pro vytvoření nových tras.

Z těchto naměřených výsledků je patrné, že ne vždy se podařilo trasu v porovnání se stávajícím stavem optimalizovat. Nejlepších výsledků bylo dosaženo u první trasy č. 6. Při využití této optimalizované trasy by vozidlo zimní údržby ušetřilo oproti stávající trase 1,1 km.

Vypočítané hodnoty u trasy č. 8 v porovnání se stávajícím stavem jsou lehce negativní. Sypač by i po optimalizaci urazil o 112,06 m více. Z celkového počtu kilometrů najetých při této trase lze ovšem zápornou hodnotu zanedbat, jelikož v takovémto případě jsou náklady spojené se spotřebou paliva minimální a je tedy možné prohlásit, že optimalizovaná trasa i trasa stávajícího stavu je totožná.

Výsledné rozdíly u tras č. 7 a č. 9 jsou již 184,56 m a 233,32 m v neprospěch optimalizované trasy. Proto nelze tyto trasy považovat za zcela optimální vzhledem k současnému stavu, jak je projíždějí TSMO. I v tomto případě se ovšem výsledný negativní rozdíl v porovnání s délkou trasy nelze brát jako vysoký.

7 DISKUZE

Prvotním cílem práce bylo vytvořit optimalizaci všech současných tras vozidel zimní údržby Technických služeb města Olomouce, a. s., tak aby byly projížďeny co nejefektivněji a tím i snížili náklady spojené se spotřebou paliva.

Po navázání spolupráce s TSmO a seznámení se se stávajícím stavem byly vybrány čtyři současné trasy jako zkušební pro pozdější práci. Z důvodů, jak pozdějších komplikací při tvorbě analýz a s nimi spojenými časovými nároky, tak také „slabou zimou“ kdy vozidla zimní údržby vyjížděla minimálně v porovnání s předešlými roky, nakonec zůstalo pouze u těchto čtyř území. Velké množství tras situovaných do okrajových částí města Olomouce by pravděpodobně stejně nebylo nikterak zajímavých z pohledu optimalizace, jelikož se jedná převážně o řídkší síť komunikací, kde je pořadí průjezdnosti logicky dáno a není zde příliš mnoho volby rozhodování.

Zásadní komplikací při tvorbě analýz byla odlišnost zvolené metody „Problému obchodního cestujícího“, od požadovaného „Problému čínského listonoše“, která se při volbě softwaru a zadání práce jevila snadno řešitelná převodem linií na body. Bylo vyzkoušeno velké množství možností jakým způsobem body na linie rozmístit. Body byly vytvářeny na křižovatkách, středech komunikací, v různých intervalu ať už to na linii rozdělené na úseky od křižovatky ke křižovatce, nebo kompaktně celé. Jako nejlepší variantou se ukázalo rozmístění bodů v intervalu po deseti a dvaceti metrech. Při pokusu o interval bodů po jednom metru docházelo k vytvoření tak velkého množství bodů, že tento problém nedokázal počítač vůbec spočítat.

Další komplikací bylo neadekvátní plánování trasy z jedné strany zájmového území na druhou a atd. K této situaci docházelo zřejmě z důvodu, že pro výpočet analýzy bylo území příliš velké se spoustou možnostmi rozhodování. Z tohoto důvodu byly trasy rozděleny do dílčích logických úseků, dle doporučení řidiče TSmO. Obdobně totiž tento problém funguje i v praxi. Řidič pokud si nepamatuje všechny komunikace zařazené do trasy, si nejprve zvolí logické území pro výkon zimní údržby, posléze si v mapě vybere další a tak pokračuje dál.

I přesto, že svým způsobem linie byly převedeny na body v menších částech, docházelo z důvodu rozdílnosti algoritmů k situacím, kdy byly navštíveny všechny body, nikoliv však linie a to i přes značně rozsáhlé nastavení možnosti otáčení na komunikacích. Tyto vynechané úseky byly ručně editovány tak, aby trasy byly následně vizualizovány kompaktně celé bez chybějících částí.

Z důvodu obtížného kartografického vyjádření komunikací, které jsou dle vytvořené trasy projety opakovaně a zejména na křižovatkách je důležitá názornost volby odbočení, byla zvolena metoda vizualizace v prostředí Google Earth. Závěrečné výstupy jsou určeny vedení TSmO, pro něž bude simulace průletu nad vytvořenou trasou jistě velmi atraktivní a přehledná. Vizualizovány tedy byly čtyři nově vzniklé trasy složené z nejlepších výsledků jednotlivých úseků, co do délky trasy.

Vytvořené výsledky jsou na základě domluvené spolupráce připraveny k poskytnutí Technickým službám města Olomouce, a. s. a bude záležet pouze na jejich rozhodnutí, zda budou použity k pozdější implementaci do praxe.

Vzhledem k nelichotivým výsledkům u trasy č. 9, kde došlo i po optimalizaci k největšímu nárůstu počtu projetych kilometrů ve srovnání se stávajícím stavem byla provedena úvaha, jak by vypadala trasa, kdyby nebyly brány v potaz jako omezení jednosměrné komunikace. Z vypočtených výsledků je logicky patrné, že počet najetých kilometrů se snížil. (Tab. 8)

Tab. 8 Výsledné hodnoty trasy číslo 9 bez jednosměrných komunikací

Trasa č.9	Optimalizovaný stav						Stávající stav
	rozmezí 20 m			rozmezí 10 m			
	SUMA	Výpočet	Vynecháno	SUMA	Výpočet	Vynecháno	
A	2372,16	2332,16	20	2372,16	2352,16	10	4176,89
A "merge"	2372,16	2332,16	20	2372,16	2352,16	10	
B	7449,13	7289,13	20 + 20 + 20 + 20	7448,50	7368,50	10 + 10 + 10 + 10	8499,93
B "merge"	7613,01	7493,01	20 + 20 + 20	7439,04	7359,04	10 + 10 + 10 + 10	
C	4281,37	4201,37	20 + 20	4042,60	4022,60	10	2067,70
C "merge"	4421,77	4261,77	20 + 20 + 20 + 20	4192,41	4132,41	10 + 10 + 10 + 10	
Součet	14102,66			13863,23			11744,52
Součet "merge"	14406,94			14003,61			

Pozn.: Alg. – vypočtené hodnoty po analýze, Vynechal – úseky, které nebyly projety po analýze, SUMA – konečná délka trasy včetně vynechaných úseků (byly následně editovány). Všechny uvedené hodnoty jsou v metrech.

Nejkratší trasa byla o 881,26 m kratší v porovnání se stávajícím stavem. Z hlediska bezpečnosti provozu na komunikacích i za předpokladu, že vozidla TSmO mohou v případné situaci porušit dopravní předpisy při jízdě se spuštěným majáčkem je tato trasa brána pouze jako úvaha a příklad k porovnání.

8 ZÁVĚR

Na základě seznámení se s faktory ovlivňujícími výkon zimní údržby komunikací, zejména tedy vycházejících ze zákona č.13/1997 Sb., o pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů a vyhláškou Ministerstva dopravy a spojů č. 104/1997 Sb., kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích, v platném znění. Ale také i po seznámení se s výkonem zimní údržby Technických služeb města Olomouce, a.s., od kterých byly získány podklady ke stávajícím trasám, z nichž byly vybrány čtyři zájmová území, byly provedeny optimalizační analýzy za účelem pokusit se minimalizovat délku projektých tras v porovnání se stávajícím stavem.

Na základě vypočtených výsledků, které byly jak do počtu najetých kilometrů pozitivní, ale i negativní lze usoudit, že použitý typ optimalizační analýzy je vhodný pro území s hustší uliční sítí s velkým množstvím jednosměrných komunikací, kde je daleko větší variabilita rozhodování pro řidiče jakou trasu pro daný úsek zvolit (trasa č. 6 a trasa č. 8). Naopak u tras spíše sídlištní zástavby s řidší hustotou silniční sítě, kde není tolik mnoho variant projetí danými úseky, jsou tedy tyto trasy projížďeny řidiči TSmo efektivně a lépe již navrhnout nejdou.

Nově vzniklé trasy, byť v některých případech ne zcela optimalizované, jsou vytvořené tak, aby byla umožněna přehledná vizualizace v atraktivním prostředí Google Earth.

POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

Tištěné zdroje

[1] DEMEL, J. *Grafy a jejich aplikace*. Academia, 2002. 258 s. ISBN 80-200-0990-6.

[2] *Operační plán*, Olomouc, Technické služby města Olomouce, a. s., 2010, 50 s.

Internetové zdroje

[3] *ArcGIS Network Analyst Tutorial* [online]. Redlands, USA : ESRI Press, 2008 [cit. 2011-05-01]. Dostupné z WWW: <http://www.webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/pdf/Network_Analyst_Tutorial.pdf>.

[4] *Geovap – Marushka* [online]. [cit. 2011-05-05]. Dostupné z WWW: <<http://marushka.geostore.cz/cz/kontakt>>.

[5] *Marushka* [online]. [cit. 2011-05-06]. Dostupné z WWW: <<http://marushkapub.liberec.cz/default.aspx?themeid=1>>.

[6] SALAJ, Dušan. *Diplomová práce: Dušan Salaj* [online]. 2007 [cit. 2011-05-03]. Vehicle Routing Problém – Metódy riešenia. Dostupné z WWW: <<http://www.dcs.fmph.uniba.sk/diplomovky/obhajene/getfile.php/Diplomovka.pdf?id=175&fid=290&type=application%2Fpdf/>>.

[7] ŠEDA, Miloš. *Teorie grafů* [online]. 2008 [cit. 2011-05-05]. Dostupné z WWW: <http://www.uai.fme.vutbr.cz/~mseda/TG03_MS.pdf>.

[8] TUCHÁČEK, Jiří. *Problémy a algoritmy* [online]. 2001 [cit. 2011-05-05]. Dostupné z WWW: <http://www.volny.cz/jtuhacek/school/paa_tsp/index.htm>.

[9] *XTools Pro – Extension for ArcGIS* [online]. [cit. 2011-05-05]. Dostupné z WWW: <<http://www.xtoolspro.com>>.

SUMMARY

The main aim of my bachelor thesis was an attempt to optimize (in terms of the total distance) routes for winter maintenance road vehicles of TSmO, that provides the winter maintenance in the city of Olomouc. TSmO not only provided me with valuable data on the current state of matters but also suggested which areas should be analyzed. Four such areas were finally chosen, differing as much as possible in aspects that are of direct influence on the winter road maintenance.

The introductory part deals with the current legal state of matters on winter maintenance in Czech republic. It also gives some information on how the problem of winter maintenance is currently being solved by TSmO and what GIS application are being used to for winter maintenance through out the Czech republic.

The practical part gives a short explanation of the methods used for solving the above problem. The analysis itself was carried out in Network Analyst extension of ArcGIS 10 where the New route procedure was mainly being used.

The final part gives a thorough analysis of the obtained results. It seems that the procedures are mainly suitable for rather dense network of roads with preferably more one-way roads thus giving a driver more options on which road to choose.

The built up routes were converted into KMZ in order to make a more attractive visualization of the results in Google Earth application.

PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

Vázané přílohy:

Příloha 1 Plán trasy č. 6

Příloha 2 Plán trasy č. 7

Příloha 3 Plán trasy č. 8

Příloha 4 Plán trasy č. 9

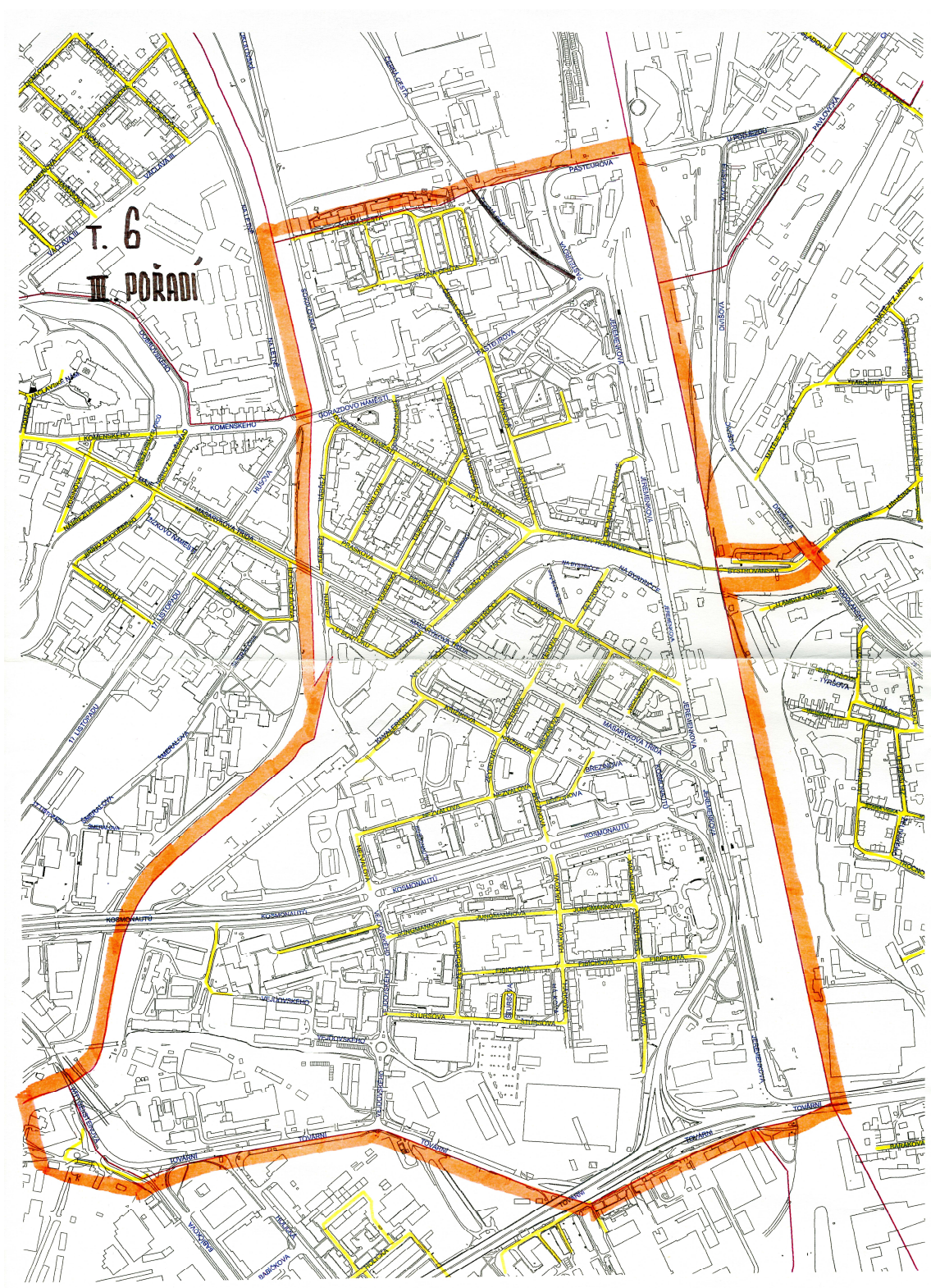
Volné přílohy

Příloha 5 DVD

- Metadata – (Prochazka1.XML, Prochazka2.XML, Prochazka3.XML)
- Text bakalářské práce
- Vstupní data (Vstupni_data.gdb)
- Výstupní data (Vystupni_data.gdb)
- Vytvořené trasy zimní údržby (trasa6.kmz, trasa7.kmz, trasa8.kmz, trasa9.kmz)
- Webové stránky o bakalářské práci

Veškerá použitá data od Technických služeb města Olomouce, a. s. byla poskytnuta pro zpracování bakalářské práce. Jejich další využití je možné jen se souhlasem správce těchto dat.

Příloha 1 – Plán trasy č. 6



Příloha 3 – Plán trasy č. 8

