

Mapování zimní údržby komunikací vybraného území v prostředí GIS

Jan Procházka

Katedra Geoinformatiky, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci,
tř. Svobody 26, 771 46, Olomouc, Česká republika
honzaproch@centrum.cz

Abstrakt. Hlavním cílem práce je pokusit se najít optimální trasy pro vozidla zimní údržby, v závislosti na délce. Za zájmová území byly vybrány čtyři současné trasy Technických služeb města Olomouce, a.s., zabezpečujících zimní údržbu ve městě Olomouci. Navržené výsledky, vytvořené v softwaru ArcGIS 10, jsou porovnány se současným stavem a následně vizualizovány v prostředí Google Earth.

Klíčová slova: zimní údržba, síťová, analýzy, GIS, Olomouc, optimalizace

Abstract. Winter maintenance of roads in GIS. The main aim of my bachelor thesis is to try to find optimal (in terms of the total distance) routes for winter maintenance road vehicles. As an example, four routes that are currently being maintained by Technické služby města Olomouce, a.s. were chosen. Proposed results, as found using ArcGIS 10 software are compared with the current situation and visualised using Google Earth

Keywords: winter maintenance, network, analyses, Olomouc, optimization

1 Úvod

V současné době, kdy je primárním cílem všech sektorů minimalizovat finanční náklady ve všech směrech bylo si stanoveno za cíl, pokusit se vytvořit optimalizované trasy pro vozidla zimní údržby Technických služeb města Olomouce, a. s., zajišťujících zimní údržbu na území statutárního města Olomouce.

Za zájmová jsou vybrány čtyři současné trasy Technických služeb města Olomouce, a. s. (TSmO) s ohledem na různorodost komunikační sítě. Na těchto trasách budou prováděny optimalizační analýzy v závislosti na odporovém faktoru, kterým je délka komunikací.

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

2 Použité metody

2.1 Použitý software

K práci s daty, vizualizaci a dílčím úkolům byl využíván software ArcGIS 10. 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 e – mailu. [5]

2.2 Použitá 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...).

Tematická data byla poskytnuta od TSmO. Byly získány plány tras zimní údržby v analogové podobě 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. Trasy byly v průběhu jízdy zakreslovány do 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.

2.3 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 vlastnostmi, jako například hustotou silniční sítě, množstvím jednosměrných komunikací a polohou vzhledem k centru města. 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. Všechny tyto trasy se nachází na území města Olomouce a jsou zařazeny do třetí třídy důležitosti.

2.4 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 příklad 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. [3]

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. [4]

3 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 [2], 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.

3.1 Příprava dat

Do průběhu jednotlivých analýz vstupovaly trasy (trasa6, trasa7, trasa8 a trasa9) nejprve kompaktně celé, ovšem z důvodu neuspokojivých výsledků, kdy vozidlo zimní údržby mělo najet spoustu zbytečných kilometrů navíc, bylo přistoupeno na rozdělení tras do logických úseků dle rad řidičů TSmO a pro tyto části byly posléze prováděny analýzy zvlášť. Trasu č. 7 nebylo nutno dle své charakteristiky dělit do menších částí.

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. Rozdíl mezi těmito vrstvami je patrný při pozdějším převodu liniových vrstev na vrstvy bodové (kapitola 3.2 Převod linií na body). Všechny vrstvy jsou automaticky ukládány do vytvořených souborových geodatabází. Nakonec je tedy připraveno dvacet liniových vrstev pro pozdější analýzy.

Tab. 1 Grafický přehled primárních vrstev

Trasa č. 6	úsek A	úsek A_Merge
	úsek B	úsek B_Merge
	úsek C	úsek C_Merge
Trasa č. 7	trasa7	trasa7_Merge
Trasa č. 8	úsek A	úsek A_Merge
	úsek B	úsek B_Merge
	úsek C	úsek C_Merge
Trasa č. 9	úsek A	úsek A_Merge
	úsek B	úsek B_Merge
	úsek C	úsek C_Merge

K provedení jakékoliv síťové analýzy je v ArcGIS 10 nutné vytvořit Network Dataset. Ten se vytváří v ArcCatalogu nad vybranou liniovou třídou prvků, v tomto případě nad sítí komunikací města Olomouce z datové sady StreetNet CZE, verze 0910.

3.2 Převod linií na body

Aby bylo možné využít metody obchodního cestujícího, která potřebuje jako vstupní data bodové vrstvy, na rozdíl od metody čínské listonoše, kde je třeba vstupních dat liniových byly převedy převedy potřebné linie na body pomocí extenze X Tools Pro 7.1. v rozmezí po deseti a dvaceti metrech.

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

3.3 Analýzy optimalizace tras

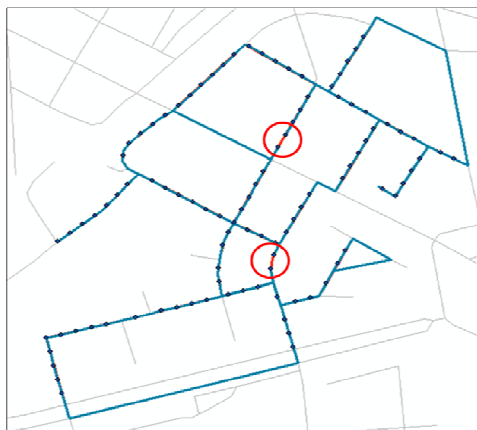
K vypracování optimalizačních tras vozidel zimní údržby byl v prostředí ArcMap použit typ síťové analýzy „New Route“, která počítá nejkratší možnou trasu mezi zadanými body po síti komunikací.

Do analýz postupně vstupovala vždy každá z dvaceti připravených tras s nastavením parametrů jednosměrek jako překážek a délky jako odporového faktoru. Otáčení bylo povoleno na křižovatkách a tzv. mrtvých koncích. Za jednotky byly zvoleny metry a povoleno bylo ignorování neplatných bodů.

3.4 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. Ve vytvořených trasách ovšem docházelo k situaci, kdy byly projety všechny zadané body, nikoliv však komunikace.

Problém s neprojetými úseky se vyskytoval kvůli již vícekrát dříve zmiňované odlišnosti problému čínského listonoše a obchodního cestujícího. Klasickým příkladem je situace, kdy vozidlo zimní údržby dojedne do jednoho z bodů a místo aby pokračovalo do dalšího bodu nejbližšího, 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 přibližně dvakrát až třikrát u každé části jednotlivých tras.



Obr. 2. 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 a zacelila se tak mezera neprojetí vozidla zimní údržby. Ve výsledných délkách tras jsou tyto protažené úseky zahrnuty.

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. 2 – Tab. 5) a tyto úseky byly spojeny do nové společné vrstvy.

3.5 Vizualizace tras

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

Po dodatečném upravení čtyř finálních vrstev, byly nejprve všechny trasy převedeny 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.

Konečně na závěr byly trasy 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.

4 Výsledky

V závislosti na rozdílnosti typu liniové vrstvy, zda byla editována funkcí „Merge“, nebo nikoliv a následně dle zvolení intervalů rozmístění bodů na této linii pro pozdější převod na bodovou vrstvu v rozmezí po deseti, nebo dvaceti metrech, byly pro všechny trasy a jím příslušné úseky vypočítány následující hodnoty, uvedené v tabulkách. Z každé trasy byly vybrány nejlepší výsledky a tyto liniové vrstvy následně převedeny do KMZ souboru pro vizualizaci v prostředí Google Earth.

Tab. 2 Výsledné hodnoty trasy číslo 6

Trasa č.6	rozmezí 20 m			rozmezí 10m			TSMO
	SUMA	Alg.	Vynechal	SUMA	Alg.	Vynechal	
A	4439,13	4291,75	31,27 + 42,42	4073,81	4053,81	10	4073,45
A "merge"	4073,81	4053,81	10	4073,81	4053,81	10	
B	3982,49	3902,49	20 + 20	3982,49	3942,49	10 + 10	4583,92
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	7713,50
C "merge"	6950,58	6870,58	20 + 20	7171,31	7131,31	10	
Součet	15372,2			15227,6			16370,86
Součet "merge"	15006,88			15227,6			

Tab. 3 Výsledné hodnoty trasy číslo 7

Trasa č.7	rozmezí 20 m			rozmezí 10m			TSMO
	SUMA	Alg.	Vynechal	SUMA	Alg.	Vynechal	
All	11583,89	11483,89	20 + 20 + 10	11603,90	11543,90	10 + 10 + 10	10246,69
"merge"	10371,25	10311,25	10 + 10 + 10	11914,63	11874,63	10 + 10	10246,69

Tab. 4 Výsledné hodnoty trasy číslo 8

Trasa č.8	rozmezí 20 m			rozmezí 10m			TSMO
	SUMA	Alg.	Vynechal	SUMA	Alg.	Vynechal	
A	5713,70	5713,70		5713,70	5713,70		5687,34
A "merge"	5713,70	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. 5 Výsledné hodnoty trasy číslo 9

Trasa č.9	rozmezí 20 m			rozmezí 10m			TSMO
	SUMA	Alg	Vynechal	SUMA	Alg	Vynechal	
A	4534,22	4385,42	20+ 20+20+14,4	4534,22	4465,42	0+10+10+4,4	4176,89
A "merge"	4534,22	4385,42	20+ 20+20+14,4	4534,22	4465,42	0+10+10+4,4	
B	8746,64	8597,84	20+20+20+14,4	8732,63	8685,83	10+10+3,4	8499,93
B "merge"	9017,32	8930,52	3,4+20+20	8819,51	8772,71	10+10+3,4	
C	2372,16	2332,16		20	2372,16	2352,16	10
C "merge"	2372,16	2332,16		20	2372,16	2352,16	10
Součet	15653			15639			14744,52

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

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 1,363 98 km.

U tras č. 7 a č. 8 byly naměřené vypočítané hodnoty v porovnání se stávajícím stavem lehce negativní. V prvním případě by sypač i po optimalizaci urazil o 124,56 m více a u trasy č. 8 o 112, 06 m více. Z celkového počtu kilometrů najetých při těchto dvou trasách lze ovšem tyto záporné hodnoty zanedbat, jelikož v takovémto případě jsou náklady spojené se spotřebou paliva minimální a je tedy možné prohlásit, že optimalizované trasy i trasy stávajícího stavu jsou totožné.

Výsledný rozdíl u trasy č. 9 je již ovšem 894,48 m v neprospěch optimalizované trasy. Proto nelze tuto vypočítanou trasu považovat za optimální vzhledem k současnému stavu, jak ji projíždějí TSMO.

5 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 projetych 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 možných variant projetí danými úseky, jsou tedy tyto trasy projížďeny řidiči TSmO efektivně a lépe již navrhnout nejdou.

Nově vzniklé trasy ať již tedy optimalizované, či nikoliv z pohledu porovnání se stávajícím stavem jsou vytvořené tak, aby byla umožněna vizualizace v atraktivním prostředí Google Earth.

Reference

1. DEMEL, J. *Grafy a jejich aplikace*. Academia, 2002. 258 s. ISBN 80-200-0990-6.
2. 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>.
3. ŠEDA, Miloš. *Teorie grafů* [online]. 2008 [cit. 2011-05-05]. Dostupné z WWW: <http://www.uai.fme.vutbr.cz/~mseda/TG03_MS.pdf>.
4. TUCHÁČEK, Jiří. *Problémy a algoritmy* [online]. 2001 [cit. 2011-05-05]. Dostupné z WWW: <http://www.volny.cz/jtuhacek/school/paa_tsp/index.htm>.
5. XTools Pro – Extension for ArcGIS [online]. [cit. 2011-05-05]. Dostupné z WWW: <<http://www.xtoolspro.com>>.