

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta stavební

Ústav železničních konstrukcí a staveb

Ing. Dušan Janošík

**APLIKACE MODERNÍCH METOD OPERAČNÍ ANALÝZY
V PROSTŘEDÍ GIS**

APPLICATION OF MODERN OPERATIONAL ANALYSIS METHODS
IN THE ENVIRONMENT GIS

ZKRÁCENÁ VERZE PH.D. THESIS

Obor: Teorie konstrukcí
Školitel: Doc. Ing. Jaroslav Puchrík, CSc.
Oponenti: Prof. Ing. František Miklošík, DrSc.
Doc. Ing. Jaroslav Smutný, Dr.
Ing. Milada Nezvalová

Datum obhajoby: 25. 2. 2004

Klíčová slova

operační výzkum, geografické informační systémy, optimalizace umělými mravenčími koloniemi

Key words

operational research, geographic information systems, ant colony optimization

Práce je uložena v knihovně FAST VUT v Brně

OBSAH

1 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	5
2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	10
3 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ	11
4 VÝSLEDKY PRÁCE	16
4.1 Tvorba datového modelu.....	16
4.2 Definice základních úloh, tvorba algoritmu sestavení nadstavby ACO	21
5 ZÁVĚRY	24
6 PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY	25
7 ŽIVOTOPIS	27
8 ABSTRAKT	28

Úvod

Informační technologie je uznávána jako jeden z nejvýznamnějších inovačních faktorů současnosti. Zachytit trendy v informatice, aplikovat je do různých oborů vyžaduje prostředí, které je přizpůsobeno k implementaci. Některé aplikace jsou přístupné širokým skupinám uživatelů, jiné jsou podmíněny dostupností věcných, znalostních a finančních prostředků. Jedna z informačních technologií, která vyžaduje sofistikovaný přístup, jsou geografické informační systémy (GIS).

Vývoj geografických informačních systémů v dnešním pojetí začal prakticky na počátku 60. let, kdy se formovaly první týmy odborníků z různých vědních oborů, snažících se využít výpočetní techniku k integraci dat z rozličných zdrojů, k jejich společné analýze a k prezentaci výsledků v takové podobě, aby je bylo možné použít jako podklad k rozhodování.

Většina aplikací v řídicí praxi se v současné době soustřeďuje na dokončení projektů prostorové pasportizace, evidence a na integraci GIS do podnikových informačních systémů. Podpora specializovaných firem na GIS technologie při zaškolování uživatelů je poměrně silná, významná a efektivní. Rozvíjí se i spolupráce se školami. Přechod z plošného nasazení výpočetní techniky a integrovaná řešení IS na časoprostorové rozhodovací procesy snad budou následovat v blízké budoucnosti.

1 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Z úvodu je zřejmé, že nejvýkonnější geografické informační systémy musí obvykle disponovat mocnými nástroji na zpracování a analýzu geografických (prostorových a atributových) dat, dále pak na analýzu blízkosti a souvislosti, tvorbu a analýzu digitálního modelu terénu, geometrická měření a výpočty, případně nástroji na realizaci modelů na bázi síťové analýzy.

Geografické informační systémy se dnes využívají zejména pro inventarizaci, správu, případně pro analýzy a modelování v rámci určitého území.

Lze se však domnívat, že evidenční stránka problému je pouze nutným základem.

Síla geografických informačních systémů je zejména ve využití dobře zorganizovaných dat k modelování různých problémů a situací. Je vhodné poznamenat, že tento trend nabývá na intenzitě.

V současné době je většina geografických modelů založena na předpokladu, že kterýkoliv daný proces lze vyjádřit matematickým zápisem nebo souborem takových zápisů. Sestavují se tak různé druhy modelů. Modely jsou přiblížením

mechanismu, dle kterého fungují reálné jevy. Čím jednodušší je jev, tím snazší je formulování jeho mechanismu matematickými prostředky. K základním používaným modelům patří:

Logické modely – ty vycházejí ze základních axiomů logiky a řídí se pravidly binární Booleovy algebry. Jejich výsledky jsou vyjádřeny jako diskrétní, resp. alternativní veličiny (pravda /nepravda)

Deterministické modely - popisují jevy ve smyslu fyzikálních zákonů. Základním jejich předpokladem je tvrzení, že fyzikální síly řídící proces jsou známy a vše, co je požadováno, je shromáždit odpovídající data. Přesnost těchto modelů závisí na kvalitě nashromážděných dat a nedefinovaných parametrech modelu.

Stochastické modely – popisují jevy ve smyslu fyzikálních zákonů. Na rozdíl od deterministických modelů je alespoň jedna ze vstupních veličin nebo alespoň jeden z parametrů vyjádřen jako pravděpodobnostní proměnná. Výsledky těchto modelů jsou pravděpodobnostní funkce. Vhodně kalibrované stochastické modely pak mohou vyjadřovat prognózy modelovaných jevů pomocí např. středních hodnot výsledných rozdělání.

Optimalizační a strategické modely – jde převážně o modely založené na teoriích operačního výzkumu. Do této oblasti patří řada metod a analýz založených např. na síťovém grafu, lineárním a nelineárním matematickém programování. K nejznámějším modelům patří problematika modelování dopravních sítí. Součástí této oblasti jsou také modely hromadné obsluhy (zásobovací modely), modely dopravních proudů apod.

Mnoho užitečných algoritmů operační analýzy má svůj teoretický základ v teoriích grafů. Jde především o algoritmy pro řešení úloh, jejichž modelem je orientovaný, případně neorientovaný graf. K nejznámějším úlohám, pro které může být tato teorie užitečná jsou následující:

- Vyhledání optimální cesty (trasy) mezi dvěma nebo více místy dopravní sítě. Trasa může být vyhledána na základě předem daných podmínek, jako např. trasa s nejkratší délkou, trasa s nejmenšími náklady apod. Nejkratší cestou rozumíme cestu, která má nejmenší délku ze všech možných cest mezi počátečním a koncovým vrcholem
- Nalezení nejdelší či nejdražší cesty v síťovém grafu, tj. obecně nalezení cesty nejvyšší hodnoty, která může být kritickou cestou vzhledem k době trvání složitějšího projektu
- Nalezení času rozšíření poruchy, infekční nákazy nebo poplašné zprávy v určité oblasti apod.
- Nalezení uzavřené trasy v dopravní síti, tzv. „úloha obchodního cestujícího“. Tato úloha znamená problém nalezení uzavřené cesty, která vede přes všechny vrcholy grafu a má minimální délku
- Nalezení oblasti, jenž je dostupná z jednoho místa (uzlu) dopravní sítě, tj. vyřešení dopravní obslužnosti oblasti (úloha je často známá pod názvem úloha čínského pošťáka). Praktickými aplikacemi této úlohy jsou roznáška

pošty, svoz komunálního odpadu, zametání silnic apod.

- Nalezení nejspolehlivějšího spojení v síti

Obtížnost určení optimální nebo alespoň suboptimální trasy dopravního prostředku při realizaci přeprav na dopravní síti závisí na vzájemném poměru kapacity dopravního prostředku a na střední velikosti přepravovaných nákladů. Tento vztah může sloužit pro nejhrubší rozlišení přepravních úloh. Budeme-li považovat g za střední velikost přepravovaného nákladu a K jako kapacitou vozidla, potom můžeme rozlišovat případy:

- trasování hromadných přeprav, kdy $g > K$
- trasování kombinovaných přeprav, kdy $g \sim K$
- trasování přeprav kusových zásilek, kdy $g < K$

Čím je střední velikost přepravovaného nákladu vzhledem ke kapacitě menší, tím je určení efektivní trasy obtížnější. Dále se bude v této práci zabývat jen problematikou poslední z uvedených případů, tj. trasováním přeprav kusových zásilek. Přestože se jedná stále o problematiku otevřenou, existuje již v současné době větší počet metod efektivně řešících některé speciální úlohy.

Úlohy spadající do kategorie drobných přeprav lze dělit do tří skupin. Jsou to prosté přepravní úlohy, jež s výjimkou pracovní doby náležitosti neobsahují jiné podmínky s časem. Dále jsou to úlohy časového rozvrhu, kde s podmínkami prostých přepravních úloh jsou zadány časy příjezdů a odjezdů náležitostí do jednotlivých uzlů, a nakonec rozlišujeme kombinované přepravní a rozvrhové úkoly, kde časy příjezdů a odjezdů náležitostí nebývají určeny přesně, ale musí ležet v předem zadaných intervalech.

Jemnější dělení uvedených skupin úloh můžeme provést podle následujících charakteristických znaků [24]:

- Čas obsluhy uzlů

1. Čas obsluhy je přesně určen (jedná se o úlohu časového rozvrhu).
2. Čas obsluhy je zadán intervalem (jde o kombinovanou úlohu).
3. čas obsluhy není určen (jedná se o prostou přepravní úlohu).

- Počet středisek

1. Síť má pouze jedno středisko. Do této skupiny patří například úloha vybírání poštovních schránek v obvodu jedné pošty.
2. Síť má více středisek. Příkladem této úlohy je například zásobování větších územních celků limonádami z několika sodovkáren.

➤ Mohutnost dopravního parku

1. Dopravní park je tvořen jedinou dopravní náležitostí. Viz dříve formulovaná úloha obchodního cestujícího.
2. Dopravní park je tvořen více náležitostmi. Toto je případ většiny svozně-rozvozních úloh v oblasti zásobování.

➤ Typ dopravního parku

1. Dopravní park je tvořen náležitostmi stejného typu (homogenní dopravní park).
2. Dopravní park je tvořen náležitostmi různých typů (heterogenní dopravní park).

➤ Povaha požadavků v uzlech

1. Požadavek uzlu je zadán konkrétní hodnotou (deterministický požadavek). Příkladem může být rozvoz sodovek, kde je požadavek konkretizován objednávkou.
2. Požadavek uzlu je zadán rozložením pravděpodobnosti náhodné proměnné (stochastický požadavek). Úlohou tohoto typu je vybírání poštovních schránek, kdy hmotnost obsahu jednotlivých schránek v čase výběru je náhodná proměnná.

➤ Umístění požadavků

1. Elementy jsou přepravovány do uzlů. Zde se jedná o většinu úloh zásobování.
2. Elementy jsou přepravovány na úseky. Do této skupiny patří například posyp silnic.
3. Současně je vyžadována přeprava dopravních elementů do uzlů i na úseky.

➤ Typ dopravní sítě

1. Neorientovaná dopravní síť. Příkladem je silniční síť složená z obousměrných silnic.
2. Orientovaná dopravní síť. Příkladem tohoto typu může být potrubní pošta.
3. Smíšená dopravní síť. Do této skupiny zařadíme úlohu sběru odpadků ve městě, kde je část ulic jednosměrných.

➤ Omezení na kapacitu náležitostí

1. Všechny náležitosti dopravního parku mají stejnou kapacitu.
2. V dopravním parku se nacházejí náležitosti různých kapacit.
3. Kapacita náležitostí dopravního parku není omezená. Příkladem takovéto úlohy je sběr informací, např. odečítání stavů plynometrů nebo elektroměrů.

➤ Maximální doba projetí jedné trasy

1. Maximální doba projetí jedné trasy je stejná pro všechny náležitosti.
2. Je různá pro jednotlivé náležitosti.
3. Není vůbec zadána.

➤ Operace prováděné s elementy v uzlech nebo na úsecích

1. Dopravní elementy jsou pouze nakládány (svozní úlohy).
2. Dopravní elementy jsou pouze vykládány (rozvozní úlohy).
3. Smíšené operace, kdy některé elementy jsou nakládány a jiné vykládány (svozně-rozvozní úlohy).

➤ Kritérium optimality (účelová funkce)

1. Minimum dopravních nákladů.
2. Minimum součtu dopravních a pořizovacích nákladů.
3. Minimální počet náležitostí potřebných pro splnění všech požadavků.

➤ Charakter dopravních nákladů

1. Náklady jsou závislé na délce cesty, kterou náležitost projede.
2. Náklady jsou pevné (např. dané tarifem).

Pro nalezení optimálního řešení problémů v dopravních sítích existuje řada přístupů a metod, zejména pak metod operačního výzkumu. Jednodušší úlohy jsou řešeny exaktními algoritmy, které zaručují optimálnost nalezeného výsledku a pracují s polynomiální složitostí. Složitější kombinatorické úlohy jsou řešeny přibližnými metodami, které vyhledají dobré suboptimální řešení. Mezi v praxi často používané metody patří algoritmy Floydův, Ford-Fulkersonova, Clark-Wrightův, Dijkstraův, Dantzigův, Borůvkův, dále pak metody Croesova, metoda větví a hranic, Kimova metoda atd. Pro řešení úloh s náhodnými vstupy nebo jinými náhodnými vlivy se často používají simulační metody.

Existuje celá řada matematických progresivních algoritmů, které nejsou dostatečně využívány. Tyto nebylo dříve možné používat z důvodu malé výkonnosti výpočetní techniky. V současné době se tyto algoritmy plně nevyužívají z důvodu malé informovanosti technické veřejnosti, přestože tyto metody mohou poskytnout lepší programátorský komfort, možnost výpočtu komplexnějších řešení atd.

2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

V dnešní době rozsáhlého zpracovávání informací, jsou stále více kladeny požadavky na jejich kvalitu i kvantitu a formu uchovávání a získávání. Na kvalitních informacích je založena schopnost ekonomického a efektivního fungování většiny podniků a institucí.

Ne jinak je tomu v silniční dopravě, kde je potřeba vést určitý systém evidence komunikací jak z hlediska polohy, tak i s ohledem na přehled o základních prostředcích dopravní sítě, který by pomohl zvyšovat plynulost jízdy, snižovat poruchovost, nehodovost, provádět údržbu, opravy a projektování tratí s menšími náklady.

Řešení problematiky v předložené disertační práci bylo vyvoláno, vzhledem k stále rostoucí hustotě dopravy, nutností v praxi realizovat operativní plánování automobilové dopravy.

Z těchto důvodů bylo možné cíle disertační práce shrnout do následujících bodů:

- Sestavit a formou pilotního projektu ověřit datové struktury GIS se zaměřením na problematiku silniční dopravy ve městech
- Vytvořit a optimalizovat metodiku sběru geografických dat a v praxi ověřit
- Shrnout a rozšířit dosavadní znalosti o metodách modelování na síťovém grafu
- Prostudovat, ověřit a naprogramovat formou nadstavby nad systémem ArcView Metodu mravenčích kolonií (ACO – Ant Colony Optimization)

- Danou metodu odzkoušet s ohledem na:
 - časovou náročnost výpočtu (svoz komunálního odpadu)
 - výběr optimálních parametrů metody zaručujících nejrychlejší řešení daného problému z hlediska délky trasy (okružní jízda mezi zvolenými uzly-středisky)
 - časovou optimalizaci okružní trasy (stále se měnící dopravní situací ve městě)
- Danou metodu srovnat s klasickými algoritmy operační analýzy zejména s orientací na algoritmus Dijkstra

3 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ

V dalším textu je uveden stručný rozbor metody mravenčích kolonií (ACO). Jde o moderní alternativní metodu ke klasickým metodám operační analýzy. Poznamenejme, že jde o poměrně novou metodu, jejíž praktické využití není dosud příliš časté. Počátky vzniku této metody se datují na začátek devadesátých let. Nicméně tato metoda pravděpodobně nalezne velkého uplatnění jak v problematice modelování úloh na dopravní síti, tak i v obecné problematice optimalizace funkcí. V disertační práci byla tato metoda použita k řešení úloh spadajících do okruhu problémů typu obchodní cestující. Základním prvkem modelu úlohy drobných přeprav v dopravní síti je proměnná, přiřazená úseku dopravní sítě, vyjadřující, zda dopravní prostředek daným úsekem projede nebo neprojede. Označme tuto proměnnou x_{ij} kde i a j jsou koncové uzly úseku. Uvažujme tedy úplnou dopravní síť se střediskem 0 a ostatními uzly $1, 2, \dots, n$. Necht' i_{ij} je délka úseku (i,j) ; potom můžeme úlohu obchodního cestujícího na této síti formulovat takto

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot x_{ij} \quad (3.1)$$

za podmínek

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i = 0, 1, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad j = 0, 1, \dots, n$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1, \quad S \subset \{1, 2, \dots, n\}$$

a kde symbolem S označujeme počet prvků množiny S .

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i = 0, 1, \dots, n, \quad j = 0, 1, \dots, n$$

V tomto modelu výraz (3.1) vyjadřuje celkovou délku projetych úseků, první podmínka vyjadřuje, že do každého uzlu sítě vozidlo přijede právě jednou, podmínky druhá vyjadřuje, že z každého uzlu sítě vozidlo odjede právě jednou a poslední podmínky zabezpečuje, že použité úseky budou tvořit jedinou okružní jízdu.

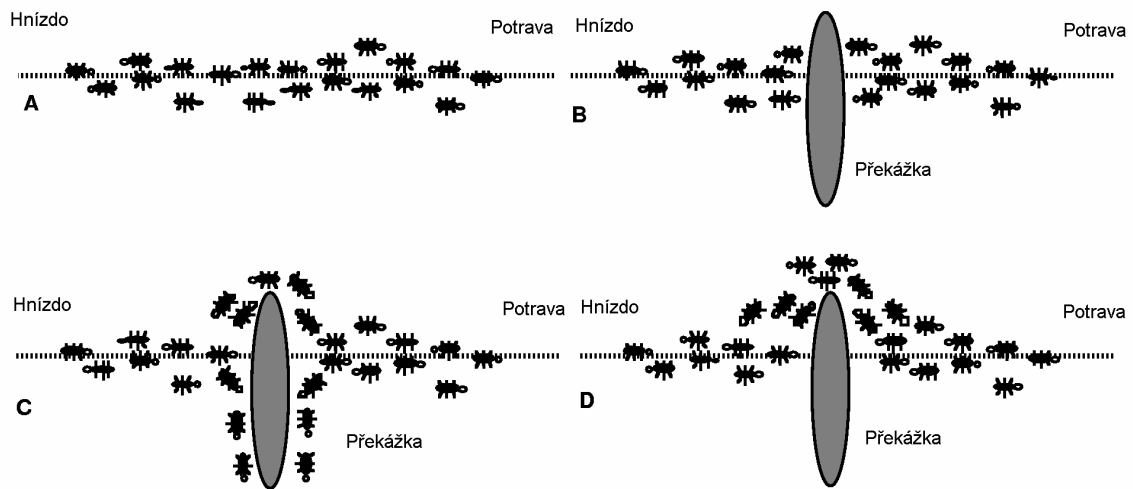
Umělé mravenčí kolonie jsou schopny generovat postupně kratší a kratší cesty, využívají při tom informace uložené na feromonových stopách. Tyto feromonové stopy zanechávají mravenci na hranách grafu.

Skutečný (reálný) mravenec je schopen nalézt nejkratší cestu od zdroje své potravy až do mraveniště. Rovněž, je schopen se přizpůsobit změnám v okolí, například je schopen velice rychle nalézt novou nejkratší cestu, jakmile je stará cesta již neschůdná, zatarasená nějakou překážkou.

K lepšímu pochopení metody, jenž slouží reálným mravencům k nalezení optimální cesty od zdroje potravy až do svého hnízda (tj. mraveniště), nám poslouží obr. 3.1.a. Mravenec se nejprve snaží vytvořit přímou spojnicí, kterou propojí zdroj potravy s mraveništěm. Je dobře známo, že prvotním úkolem pro mravence je vytvořit a udržovat tuto přímou spojnicí, tj. přímou feromonovou stopu. Mravenci při putování po svých cestičkách zanechávají za sebou určité množství feromonu a každý mravenec pravděpodobně dává přednost směru obsahující větší množství tohoto feromonu. Toto základní chování skutečného mravence nám může pomoci vysvětlit jak mohou nalézt nejkratší cestu nebo jak opětovně spojit přerušenu dráhu po neočekávaném výskytu nějaké překážky (Obr. 3.1.b).

Ve skutečnosti, jakmile se objeví překážka, ti mravenci jenž jsou právě před překážkou nemůžou pokračovat po přímé feromonové stopě a proto musí volit zdali zabočit vpravo nebo vlevo. Velmi podobná situace může nastat na druhé straně překážky (Obr. 3.1.c). Všimněme si, že ten mravenec, který si náhodně volí kratší cestu kolem překážky nalezne přerušenu feromonovou stopu rychleji oproti tomu mravenci, který volí delší cestu. Tudiž, kratší cesta bude označena větším množstvím feromonu za časovou jednotku a po určité chvíli již bude volit tuto kratší cestu stále větší a větší počet mravenců. Kvůli tomuto zpětně

vazebnému procesu (autokatalytickému procesu) si všichni mravenci rychle zvolí kratší cestu (Obr. 3.1.d).



Obr. 3.1. Proces nalezení nejkratší cesty

Hledání nejkratší cesty kolem překážky se zdá být důležitou schopností (vlastností) vzájemného působení mezi tvarem překážky a chováním mravenců. Ačkoli se všichni mravenci pohybují přibližně stejnou rychlostí a nanášejí feromonovou stopu ve stejném poměru (množství) jsou schopni rychleji nalézt feromonovou stopu na kratší straně. Priorita mravenců, jenž způsobí, že se většina mravenců pohybuje po silnější (výraznější) feromonové stopě, má za důsledek ještě rychlejší ukládání feromonu na kratší cestě.

Teď si ukažme, jak bude podobný proces pracovat v simulovaném světě umělých mravenců. Pokusím se rozřešit problém obchodního cestujícího. Problém obchodního cestujícího je problém hledání nejkratší uzavřené cesty, které prochází všemi městy (obecně uzly) daného souboru. V této kapitole omezíme pozornost na problém obchodního cestujícího ve kterém existuje cesta (hrana) mezi každým párem měst (graf je úplně spojený).

Považujme umělého mravence za činitele, který se pohybuje z města do města na grafu. Tento mravenec si sám zvolí město, do kterého se bude pohybovat na základě pravděpodobnostní funkce příslušející jednotlivým hranám a na základě heuristické hodnoty, která závisí na délce hran. Umělý mravenec pravděpodobně dává přednost městům, která jsou spojena hranami označenými větším množstvím feromonu. Nejprve, je umístěno několik umělých mravenců v náhodně vybraných městech. V každém časovém kroku se přestěhují do nového okolního města a upraví tak intenzitu (množství) feromonu na hraně, to je možno pojmenovat jako místní aktualizace stopy. Když všichni mravenci dokončí putování po grafu, mravenec, který prošel všechny města nejkratší

možnou cestou upraví hrany grafu na základě sčítání množství feromonu na jednotlivých úsecích. Výše popsanou činnost označme jako globální aktualizace stopy.

Existují tři pojmy chování přirozeného mravence, které jsme aplikovali (použili) na naši umělou kolonii mravenců:

- přednost pro cestu (trasu) s vyšší intenzitou feromonu,
- vyšší míra růstu množství feromonu na kratší cestě,
- komunikace na stopě (trase) mezi mravenci.

Umělý mravenec je obdařen také několika schopnostmi (vlastnostmi), které nemá jeho přirozený protějšek, ale které je vhodné mu přisoudit při řešení aplikací obchodního cestujícího.

Umělí mravenci mohou určit vzdálenost mezi jednotlivými městy (jednotlivými uzly grafu), jsou také obdařeni pamětí, užívanou k zapamatování si již navštívených měst (paměť je na začátku každé nové cesty prázdná a je aktualizovaná po každém časovém kroku přidáním nově navštíveného města).

Existuje mnoho různých způsobů, jak vyjádřit výše uvedené principy do vhodného matematického výpočtového modelu. Jednou z možností je následující formulace daného problému.

Mějme hranově ohodnocený graf, kde d_{ij} představuje délku mezi městy (uzly) i a j . Dále předpokládejme, že $b_i(t)$ je počet mravenců v i -tém městě v čase t . Z toho vyplývá, že celkový počet mravenců nacházejících se na grafu, lze vypočítat ze vztahu

$$m = \sum_{i=1}^n b_i(t) \quad (3.2)$$

Předpokládejme že každý mravenec disponuje následujícími vlastnostmi:

- při přechodu z uzlu i do uzlu j uloží mravenec na hranu (i,j) množství feromonu Q
- následující uzel vybere na základě pravděpodobnostní funkce p_{ij} , která závisí na vzdálenosti mezi uzly a množstvím feromonu mezi těmito uzly
- mravenec může vybírat pouze z množiny nenavštívených uzlů

Nechť $\tau_{ij}(t)$ je intenzita feromonu na hraně (i,j) v čase t . V každé iteraci se množství intenzity vypočítá ze vztahu

$$\tau_{ij}(t+1) = \rho \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t,t+1), \quad (3.3)$$

kde ρ je koeficient, kde $1-\rho$ představuje proces vypařování (zeslabování) množství feromonu ($\rho < 1$). Dále lze definovat celkové množství feromonu ležící na hraně i,j nanesené všemi mravenci v časovém intervalu t a $t+1$ dle vztahu

$$\Delta\tau_{ij}(t,t+1) = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k(t,t+1), \quad (3.4)$$

kde $\Delta\tau_{ij}^k(t,t+1)$ představuje množství feromonu nanesené na hraně (i,j) jedním mravencem.

Na rozdíl od skutečného mravence si náš umělý mravenec ukládá seznam již navštívených uzlů do datové tabulky. Dále je třeba nadefinovat vektor obsahující s-tý uzel navštívený k -tým mravencem. definujme viditelnost jako vztah $\eta_{ij} = 1/d_{ij}$. Pravděpodobnostní funkci přenosu z uzlu i do uzlu j je potom možno nadefinovat jako

$$p_{ij}(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{\Omega} [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} & j \in \Omega \\ 0 & jinak \end{cases}, \quad (4.6)$$

kde α a β jsou parametry které ovlivňují rychlost a přesnost algoritmu a Ω představuje množinu dosud nenavštívených uzlů. Možnosti volby těchto parametrů jsou uvedeny v praktické části disertační práce.

4 VÝSLEDKY PRÁCE

4.1 TVORBA DATOVÉHO MODELU

Nevyhnutelným krokem při realizaci disertační práce bylo sestavení a formou pilotního projektu ověření univerzálního datového modelu nad platformou GIS.

Při návrhu struktury datového modelu šlo s ohledem na výše uvedené cíle projektu zvláště o:

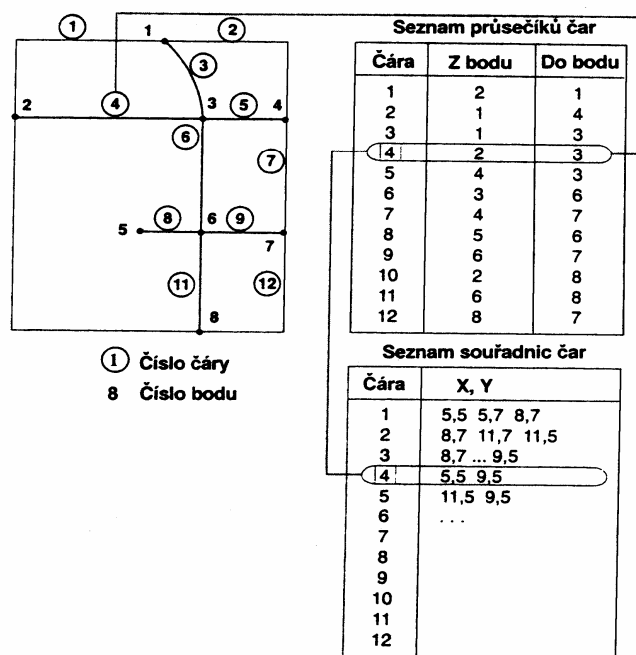
- a) Stanovení požadovaných informačních úrovní, vrstev prostorových informací a objektů v nich.
- b) Určení požadovaných atributů pro objekty jednotlivých informačních vrstev.
- c) Definování souřadnicového systému.

Vzhledem k negativním dopadům, jenž mohou být následkem špatně navržených datových struktur, bylo mým cílem návrhu, aby databáze obsahovala všechny potřebné údaje, pokud možno neredundantním způsobem. Struktura databáze by měla umožnit užívání dat různými uživateli.

Bylo tedy nutné definovat prostorové modely reality, definovat entity v modelech a jejich vzájemné vztahy (vytvořit tzv. konceptuální model), určit reprezentace entit., navrhnout logicky databázový model pro uložení dat. a organizovat údaje ve strukturách GIS.

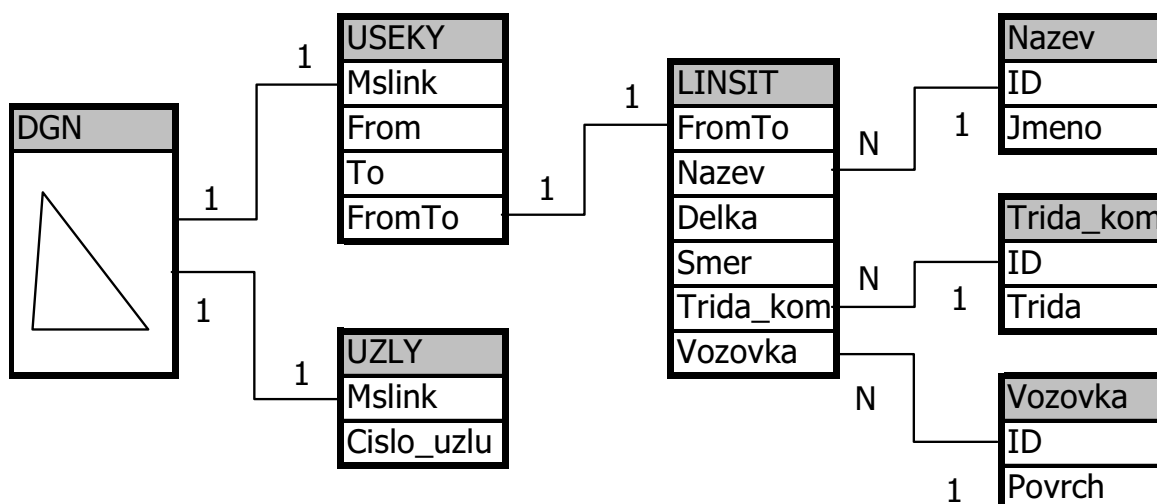
V rámci naplnění databáze, jsem byl nucen provést vstup prostorových dat, budování systému topologických vztahů a vstup atributových údajů. Přenos údajů, které už existují v digitální formě obnášel hlavně změnu formátu údajů popř. změnu souřadného systému. Při tvorbě modelu jsem používal velké množství různých typů dat specifických pro jednotlivá softwarová prostředí. Důležitou byla také etapa kontroly údajů a editace chyb v geometrické, topologické i atributové části údajů. Z hlediska fungování systému jsem se této problematice musel věnovat po celou dobu tvorby pilotního projektu.

Pro reprezentaci modelu, jenž plně vyhovuje řešené problematice, kterou zpracovávám v disertační práci, jsem si zvolil vektorový model - hierarchický. Hierarchický vektorový model (obr. 4.1.) a struktura překonává velkou nevýhodu jednodušších vektorových modelů a struktur při vyhledávání entit tím, že zvláště ukládá údaje o bod uzlech, liniích - hranách a plochách - polygonech v logické hierarchické struktuře.



Obr. 4.1. Hierarchická vektorová struktura

Hierarchický vektorový model a struktura poskytuje mnoho výhod oproti topologickému modelu a struktuře při prohledávání a manipulaci. Oddělení tříd elementů (tj. polygonových hran a uzlů) dovoluje oddělené hledání jen ve specifické třídě. V počítačové implementaci tato fyzická separace (oddělení) umožňuje větší efektivnost v potřebném paměťovém prostoru, stejně jako v rychlosti pro většinu operací. Tato dává tomuto typu modelu výrazné výhody při aplikaci na entity, které mají velký počet společných úseků hranic. Tyto nedatové elementy přidávají výrazný objem potřebného paměťového prostoru navíc pro daný model. Vyhledávače nebo identifikátory také představují potenciální problém při zabezpečování a udržení integrity údajů. Je to proto, že nesprávné identifikátory se dají extrémně těžce identifikovat nebo opravit. Navržená datová struktura relační databáze je ve zjednodušené formě zobrazena na obr. 4.2.



Obr. 4.2. Struktura relační databáze

Zcela vlevo je zobrazena grafická reprezentace celého modelu, v mém případě je jedná o vektorové soubory ve formátu DGN. Na tento výkres jsou napojeny, pomocí jedinečných identifikátorů datové tabulky USEKY a UZLY. Položky v těchto tabulkách jsou s jednotlivými entitami výkresu spojeny relacemi 1 : 1. Na tyto tabulky, které obsahují topologickou informaci o jednotlivých entitách, jsou napojeny datové tabulky (LINSIT) jejichž obsah je důležitý pro prováděné analýzy. Tabulka je spojena přes klíčovou položku která představuje buď úsek nebo uzel liniové sítě. Aby byla dodržena i třetí forma normalizace dat, byly jednotlivé pole tabulky dále rozděleny do samostatných tabulek, s původní spojenou relací N : 1.

Výsledkem etapy návrhu prostorového modelu a struktury databáze bylo s ohledem na dostupné zdroje dat a použitého zařízení, a s ohledem na řešenou problematiku vytvoření hierarchického vektorového modelu. Tento model, jakož to vylepšení klasických topologických modelů poskytuje mnoho výhod oproti topologickému modelu, zejména při prohledávání a manipulaci. Na tento model jsou pomocí relací napojeny datové tabulky. Tabulky jsou uspořádány tak, aby splňovaly tři základní normy pro normalizaci dat. Touto normalizací zaručíme, že data budou uložena neredundantním způsobem.

Naplnění databáze je časově nejzdlouhavějším, nejkomplicovanějším i finančně nejnáročnějším krokem v rámci projektu GIS.

Vzhledem k časové i finanční náročnosti je důležité procesu získávání údajů i rozsahu jejich následných úprav věnovat mimořádnou pozornost. Podobné je to s kvalitou získaných údajů. Nepřesné, nekvalitní a zastaralé údaje mohou být přes námahu a prostředky vynaložené na jejich získávání pro další použití nevhodné.

K dispozici jsem měl tyto materiály a data:

➤ grafická data

- ortofotomapa města Brna (*.jpg)
- kladolist (*.dgn)
- digitální katastrální mapa Brna (*.dgn)
- liniová dopravní síť města Brna (*.dgn)

➤ atributová data

- atributová data pro jednotlivé úseky sítě (*.dbf)

Je třeba podotknout, že velikost všech souborů ortofotomapy přesahuje 300 MB. I když byl projekt zpracovávám na relativně výkonné výpočetní technice, odezva na jednotlivé kroky analýz se pohybovala okolo 15-20 sekund. Tento fakt velice zneprůjemňuje práci nejenom při tvorbě, ale hlavně při využívání takového systému. Z tohoto důvodu jsem přikročil ke konverzi všech souborů ortofotomapy do formátu SID. Tento formát vyniká hlavně velkým kompresním poměrem bitmapových souborů, bez ztráty kvality. K jeho vytvoření jsem použil produkt MrSID GEOSPATIAL ENCODER.

MrSID GEOSPATIAL ENCODER umožňuje komprimovat vybrané vstupní soubory do jednoho výstupního souboru a zajišťuje bezešvou strukturu dat. To umožňuje rychle vybírat a prohlížet libovolnou část rastru bez nutnosti probírat stovky souborů a hledat požadovanou lokalitu nebo otevírat mnoho souborů, aby bylo vidět celé rozsáhlé území najednou. Přístup k libovolné části rastru je velmi rychlý bez ohledu na jeho velikost a požadované zvětšení nebo zmenšení.

Velikost výsledného souboru (brno.sid) je 154 MB, velikost se zmenšila na polovinu původní velikosti. Reakce se díky transformaci zrychlila na 1-2 sekundy. Přínos transformace souboru je tedy značný.

V rámci zpracování disertační práce byla použita (vyexportována) atributová dat ve formátu DBF. Tvorba a úprava datových souborů byla provedena pomocí programu MS Access 2000. Datové tabulky byly vyexportovány do formátu DBF, do jediného formátu, se kterým umí prostředí ArcView 3.2 plnohodnotně pracovat (čtení a modifikace dat). Relace mezi jednotlivými klíčovými hodnotami byly provedeny prostředky programu ArcView 3.2.

Po vstupu údajů následovala kontrola přesnosti, zachování logických vazeb objektů a jejich vlastností. Částečně je možné ji uskutečnit vizuálně na zobrazeních jednotlivých informačních vrstev. V případě nutnosti bylo nutno důležité údaje překontrolovat přímo v datových souborech (např. souřadnice kontrolních bodů, hranice pracovní oblasti apod.).

Manipulace s údaji je klíčovou oblastí ve fungování GIS, protože dovoluje měnit strukturu údajů z různých zdrojů tak, aby se výhodně daly využít pro požadované analýzy. Někdy se tento proces nazývá i integrací údajů. Restrukturalizace obnáší hlavně změny ve struktuře geografických a atributových údajů a konverze mezi vektorovými a rastrovými reprezentacemi.

Postupy restrukturalizace nebo manipulace s údaji se uplatňují na všech součástech geografické informace (popisu geografických objektů). Může se jednat o prostorovou část informací (geometrii), popisné informace (atributy) i prostorové vztahy mezi objekty nebo stavebními prvky reprezentací objektů. Jednou ze základních forem manipulace s údaji je výběrové prostorové editování geometrických objektů při změně topologických vztahů. Při manipulaci s atributovými hodnotami ve vektorové reprezentaci se uplatňují služby implementovaného databázového systému pro práci s hodnotami atributů uložených v relačním prostředí. V tomto směru je možné pružné vypočítání hodnot nových atributů z původního jednoho i více vstupních atributů, přiřazování nové hodnoty podle zadaných klasifikačních schémat.

V této etapě bylo nutno provést drobné změny ve struktuře geografických a atributových údajů. Jednalo se zejména o úpravy některých hran uliční sítě. V tabulkách atributových dat byly vynechány méně důležité popř. nevýznamné položky a byly přidány nové, které lépe vyhovují řešené problematice. Dotazování na databáze a vykonání analýz a syntéz je srdcem každého GIS. Schopnost provést pravé geografické analýzy vyčleňuje GIS od jiných počítačových systémů. Výběr konkrétních analytických metod závisí na povaze a cílech projektu. Ovlivňuje ho i zaměření aplikace GIS.

Přes evidentní atraktivnost, je modelování procesů zatím novou a poměrně málo rozvinutou aktivitou. Důvodů je více. Musíme např. znát samotné procesy a dokázat je popsat. Procesy mají algoritmický charakter a vyžadují obvykle vytvoření vlastních uživatelských modulů. Kromě erudovanosti uživatele narážíme i na potřebu jednoduchosti a jednoduché využitelnosti datové struktury. Přistupuje také výpočetní náročnost - nároky na současné zpracovávání velkého kvanta údajů (nároky na operační paměť) a složitost postupů.

V uvedeném pojetí se jedná vlastně o analýzy v reálném čase, kdy výsledky reálných procesů postupně vstupují do analytických výpočtů jako proměnné v režimu on-line. Tyto možnosti jsou dány technickou vyspělostí konkrétního softwarového prostředí a jeho dokonalou integrací na operační systém. Kromě práce uvnitř systému se podporuje i rozvoj vazeb na vnější prostředí - komunikaci s externími (i vzdálenými) databázemi, systémy pro řízení a organizaci výroby apod.

4.2 DEFINICE ZÁKLADNÍCH ÚLOH, TVORBA ALGORITMU SESTAVENÍ NADSTAVBY ACO

Jak jsem se již uvedl dříve, dopravní síť může být definována jako soubor liniových objektů, přes které proudí nějaké zdroje. Liniové objekty, které vytvářejí síť mají několik důležitých charakteristik - délku, směr, konektivitu (linie musí propojovat nejméně dva body). Sítě mohou být dvoj nebo trojrozměrné. Běžné aplikace jsou však především ve dvou rozměrech. Sítě mohou být použity k modelování, např. proudění vody ve vodních tocích a potrubích, toku elektrického proudu v rozvodových vedeních, plynu v potrubích, pohybu vozidel po silnicích, lidí po dopravních trasách, vlaků po železničních tratích apod. Z povahy modelování objektů a vyžadovaných analýz vyplývá, že k reprezentaci sítí se užívá vektorová reprezentace reality a příslušné datové struktury.

K řešení problémů spojených s liniovými sítěmi existují komerčně dostupné nadstavby vycházející z klasických metod operační analýzy (Dijkstra apod.). Například k produktu ArcView je dodávána nadstavba Network Analyst.

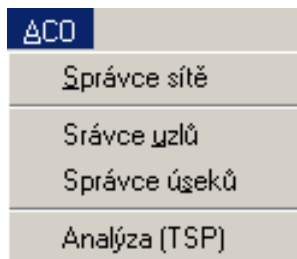
ArcView je rozšiřitelný systém. Jeho analytické nadstavby umožňují uživatelům provádět celou řadu geografických analýz a řešit problémy reálného světa. ArcView Network Analyst umožňuje uživatelům řešit množství problémů, které se týkají uliční a silniční sítě, řeky, potrubí, inženýrské sítě atd. Mezi nejčastější problémy patří například nalezení nejrychlejší a nejúspěšnější trasy, určení směru cesty, nalezení nejbližšího vhodného zařízení anebo obchodní oblasti na základě cestovního času. Program Network Analyst úspěšně se sítěmi s malým počtem uzlů.

ArcView je vyvinuto na objektově-orientovaném programovacím jazyce a prostředí pro vývoj aplikací, známém jako Avenue. S použitím Avenue je možné přizpůsobit uživatelské rozhraní ArcView. V podstatě je možné ArcView považovat za aplikaci Avenue. Avenue není jen programovací jazyk běžící v ArcView, ale je to plně funkční objektově orientované vývojové prostředí s programovacím jazykem určeným speciálně pro GIS. Avenue je pro konečné uživatele a programátory k dispozici jako oddělený produkt pro rozšíření základních schopností ArcView a jeho úpravu pro specifické aplikace.

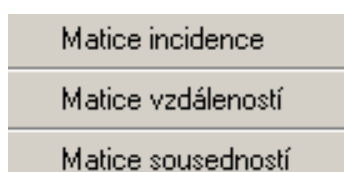
Po analýze klasických metod operačního výzkumu a některých moderních metod jsem přistoupil k sestavení a naprogramování algoritmu Metody mravenčích kolonií formou programové nadstavby nad systémem ArcView a tento program jsem odzkoušel na vybraných typech úloh.

V první etapě vývoje byla do nadstavby zakomponována problematika nalezení optimálního spojení mezi dvěma nebo více místy a nalezení optimální okružní trasy (problém obchodního cestujícího). Řešení těchto problémů je možno provádět jak na neorientované (bez omezení směru jízdy) tak na orientované dopravní síti (jsou dány směry jednotlivých hran).

Z programátorského hlediska se nadstavba skládá z několika samostatně použitelných modulů. Lze tvrdit, že každé položce z obr. 4.3 odpovídá jeden z modulů.



Obr. 4.3. Nabídka nadstavby ACO

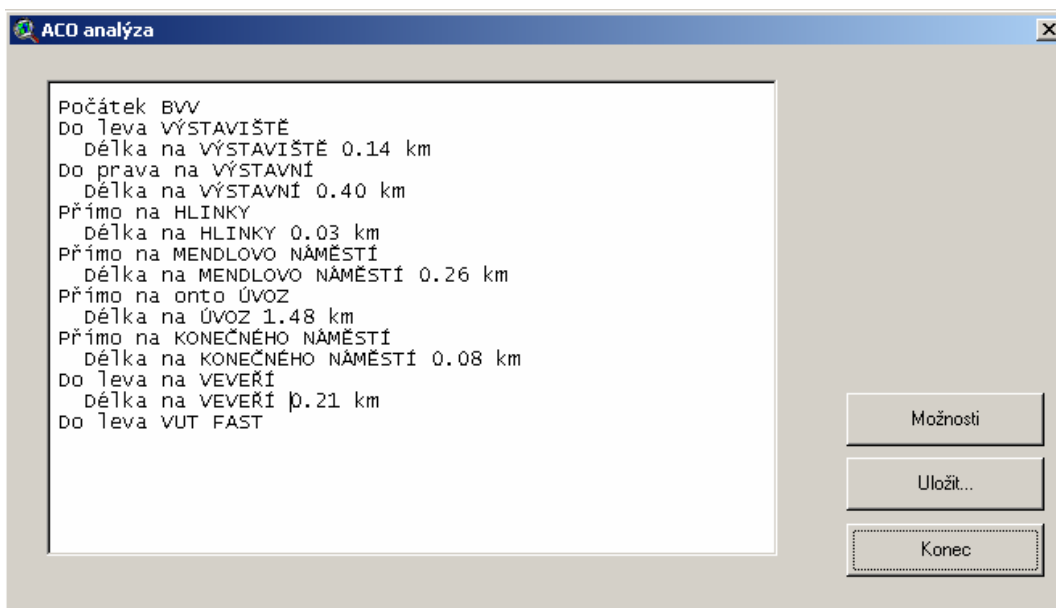


Obr. 4.4. Modul Správce sítě

První samostatný modul „*Správce sítě*“ (viz. obr 4.4.) provádí kontrolu datových struktur jednotlivých geoprvků, kontroluje obsah datových položek nutných pro zpracování dalšími oduly programu. Dojde rovněž k vytvoření incidenčních matic vrcholů a hran a dalších pomocných datových struktur, které se používají pro popis dopravních sítí.

Další samostatnou částí nadstavby je modul „*Správce uzlů*“. Tento modul slouží k vytváření a mazání tabulek seznamů uzlů, kterými má výsledná trasy procházet. Tabulka uzlů se používá k uchování potřebných informací pro jednotlivá místa v síti. Každému záznamu v tabulce odpovídá jeden bod (místo) na mapě. Každá tabulky musí obsahovat minimálně souřadnice, jméno a identifikátor uzlu. Modul je schopen tyto informace získat z již existujících hladin (SHP) nebo je schopen tyto struktury vytvořit z datových tabulek. Tento proces se nazývá geokódování.

Správce úseků je modul, která nám umožňuje přidávat, rušit, editovat položky v atributové tabulce jež používáme pro definici a řešení problémů. Lze změnit hodnoty ohodnocení jednotlivých hran, zakázat úsek, změnit směr jízdy, omezení platná pro daný úsek apod.



Obr. 4.5. Výsledek provedené analýzy

Poslední z modulů provádí samotnou analýzu problému, výsledek vykreslí na mapě a dále sestaví itinerář celé trasy (viz. obr. 4.5). Problematika TSP je pomocí této nadstavby vyřešena pomocí teorie metody ACO. I když se jedná o heuristickou metodu, tj. výsledná trasa nemusí být vždy ideální, výsledky srovnání s nadstavbou ArcView Network jsou velice pozitivní (viz. tab. 4.1).

Počet sběrných nádob	ArcView Network [s]	ACO [s]	Optimální délka trasy [m]
10	1,5	< 1	1 740
30	4,5	< 1	5 959
50	8,4	< 1	9 290
80	24,7	< 1	15 020
100	49,0	1,2	18 784
120	172,0	2,1	22 950
150	324,5	3,2	32 311
170	512,0	4,8	37 470

Tab.4.1 Porovnání algoritmu Dijkstra a ACO

5 ZÁVĚRY

Řešení problematiky v předložené disertační práci bylo vyvoláno, vzhledem k stále rostoucí hustotě dopravy, nutností v praxi realizovat operativní plánování automobilové dopravy. Jde o výpočtově náročné problémy a klasické metody pro řešení těchto problémů sice zaručují nalezení optimálního řešení, ale jejich použití není od určitého rozsahu problému v reálném čase možné. Úlohy tohoto typu lze tedy řešit přesnými matematickými metodami pouze do omezeného rozsahu. Proto je potřeba v problematice modelování dopravy hledat nové výpočetní postupy. Obecně platí, že na rozsáhlejší úlohy je nutné použít zejména heuristických metod. Mezi takové patří také Metoda mravenčích kolonií (ACO). Tato metoda je obzvláště výhodná k algoritmizaci v prostředí programových produktů na platformě GIS.

Za nejvýznamnější výsledky disertační práce lze považovat:

- Shrnutí dostupných informací týkajících se problematiky geografických informačních systémů, jejich implementaci v prostředí silniční dopravy. A to jak ve sjednocení jednotlivých pojmů, vztahu, souvislostí.
- V rámci disertační práci byl sestaven a formou pilotního projektu ověřen univerzální datové model GIS se zaměřením na problematiku silniční dopravy ve městech. Byla vytvořena a optimalizována metodika sběru geografických dat.
- Byly prostudovány stávající i nové postupy analýzy na síťovém grafu. Z perspektivních heuristických metod byla vybrána na základě teoretického rozboru Metoda mravenčích kolonií (ACO) k využití v oblasti svozně-rozvozních úloh.
- Byl vytvořen algoritmus výpočtu ACO a ten byl implementován formou nadstavby do programu ArcView. Tím byl vytvořen systém umožňující využívat geografických dat jako vstup do modelování.
- Dana metoda byla odzkoušena na třech vybraných úlohách:
 - časovou náročnost výpočtu (svoz komunálního odpadu)
 - výběr optimálních parametrů metody zaručujících nejrychlejší řešení daného problému z hlediska délky trasy (okružní jízda mezi zvolenými uzly-středisky)
 - časovou optimalizaci okružní trasy (stále se měnící dopravní situaci ve městě)
- Metoda ACO byla rovněž srovnána s klasickými algoritmy operační analýzy (v praxi nejvíce používaným algoritmem Dijkstra).

Rozpracování a zobecnění teorie metody ACO přispívá a přispěje k vytváření dalších postupů s výhodnějšími vlastnostmi. V současné době existuje řada jiných, v praxi použitelných metod. Nicméně i tak je metoda ACO velkým příslibem pro další vývoj nových metod modelování v oblasti dopravy.

Poznamenejme, že výsledky disertační práce vedou k závěru, že v budoucnu bude nutné také přistoupit k začlenění různých kvalitativních metod (umělé inteligence, fuzzy set, rough set apod.) do algoritmů ACO, což přinese řadu výborných výsledků zejména při modelování složitých kombinatorických úloh.

6 PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Borůvka, O.: „O jistém problému minimálním“; Práce moravské přírodovědecké společnosti v Brně, sv. III, spis 3., 1926, strana 37-58.
- [2] Brandalík, F.; Kluvánek, P. : „Operační analýza v železniční dopravě“; Alfa, Bratislava, 1984
- [3] Burrough, P. A.: Principles of geographical information systems for land resources assessment. Clarendon Press. Oxford, 1986
- [4] Cenek, P.; Janáček, J.; Klíma, V.: „Optimalizace dopravních a spojových procesů“; VŠDS Žilina; Žilina, 1994
- [5] Černý, J. Kluvánek, P. Základy matematické teorie dopravy. VEDA, Bratislava, 1991
- [6] DaCosta, R.: Object database technology in GIS. Mapping Awareness & GIS in Europe, č. 3, roč. 7, 1993. Str. 44-45.
- [7] Janáček, J.: Operační analýza I. Bratislava, Alfa (1985)
- [8] Janáček, J.: Operační analýza II. Bratislava, Alfa (1983), 194 s.
- [9] Kučera, L.: Kombinatorické algoritmy. SNTL. Praha, 1983. 288 s.
- [10] McDonell, R., Kemp, K.: International GIS Dictionary. 111 s. GeoInformation International, Cambridge, 1995
- [11] Medelská, V.; Jirava, P.; Nop, D.; Rojan, J.: „Dopravné inženýrstvo“; Alfa, Bratislava, 1991
- [12] Nečas, J.: „Grafy a jejich použití“; SNTL, Praha, 1978
- [13] Nešetřil, J.: „Teorie grafů“; SNTL, Praha, 1979
- [14] Plesník, Ján: „Grafové algoritmy“; VEDA, Bratislava, 1983
- [15] Rapant, P.: Úvod do geografických informačních systémů, Ostrava 2002, 112 s.
- [16] Skýva, L., Janáček, J., Cenek, P.: Energeticky optimální řízení dopravních systémů Praha, Nadas, 1987

- [17] Smith, T. R.: Requirements and principles for the implementation and construction of large scale GIS. *Int. Journal of GIS*, č. 1, roč. 1., 1987. str. 13-31
- [18] Smutný J.: 11. Urban Geographic System of Rail Transport by Arc/Info, ESRI European User Conference 9/1996, London (UK), pp. 3
- [19] Smutný J.: Using GIS in Urban Transport Services, Safety the Environment in the 21st Century, 23-27 November 1997, Tel Aviv Israel, pp. 496-501
- [20] Smutný J., Janoščík D.: Using GIS for Management of Communal Waste Salvage, 3th Historical Cities Sustainable Development – The GIS as Design and Management Support, *Histocity 99*, Siracusa, Italy, 5/1999, CD – disk, pp. 6
- [21] Smutný J., Janoščík D.: Using GIS for Management of Communal Waste Salvage, *Histocity book – The best of 1998-2000 Network Research on The Historical Cities Sustainable Development using GIS*, Dipartimento di Processi e Metodi dell' Università degli Studi di Firenze, 2000, ISBN 88-8125-178-7, pp. 93 – 96
- [22] Steenbrink, P.: „Optimization of Transport Networks; J.Wiley and sons, London, 1974.
- [23] Tabourier, Y.: All shortest distances in a graph. An improvement to Dantzig's inductive algorithm. *Discrete Mathematics*, 4, 1973, str. 83-87
- [24] Tuzar, A.: „Teorie dopravy“; Universita Pardubice; Pardubice, 1996
- [25] Tarjan, R.E.: Complexity of combinatorial algorithms. *SIAM Review*, 20, 1978, str. 457-491
- [26] Tarjan, R.E.: *DataStructures and Network Algorithms*. Society for Industrial and Applied Mathematics. Philadelphia, 1983
- [27] Ullman, J.P.: *Principles of Database Systems*. Computer Science Press, Rockville, 1982
- [28] Walter, J. a kol.: *Operační výzkum*. 192 s. SNTL/ALFA. Praha, 1973
- [29] Wiedermann, J.: Efektívna implementácia slovníka v minimálnej pameti. *Informačné systémy*, No.6, 1980
- [30] Wirth, N.: *Algoritmy a štruktúry údajov*. Alfa, Bratislava, 1987

7 ŽIVOTOPIS

Osobní údaje:

Jméno: Dušan Janoščík

Datum narození: 24.8.1972

Místo narození: Nový Jičín

Zaměstnavatel: Vysoké učení technické v Brně, Stavební fakulta
Ústav železničních konstrukcí a staveb
Veveří 95
602 00 Brno

Pracovní zařazení: odborný asistent

Vzdělání:

1985 - 1990 SPŠ stavební v Lipníku nad Bečvou

1990 - 1995 VUT, Fakulta stavební v Brně, obor "Konstrukce a dopravní stavby".

1995 - 1998 doktorandské studium, studijní obor „Teorie konstrukcí“.

1997 - 1999 Fakulta podnikatelská VUT v Brně, obor „Řízení a ekonomika podniku“.

Pedagogicko-výzkumné zaměření:

- Konstrukce a dopravní stavby
- Aplikace výpočetní techniky v projektování liniových staveb
- Budování GIS a jejich využití v dopravě
- Databázové systémy
- Měřicí technika a modelování se zaměřením na dopravní stavby
- V rámci pracovního zařazení zabezpečení chodu výpočetní a měřicí techniky ústavu

8 ABSTRAKT

The present period can be characterized as the one where the processing of information gains crucial role. Of course, increasing requirements are laid on quality as well as quantity of information and on the way of their acquisition. It is obvious that high quality information is one of the main conditions for economic and efficient operation of companies and institutions.

The road transportation follows the above stated rules. It is necessary to establish and keep a system for evidence of communications regarding to their position and for evidence of essential instruments of transportation network. This system should enable to improve fluency of driving, decrease failure rates, frequency of accidents; it should also positively affect the costs of servicing needs and projecting of routes.

The need for solution of this thesis topic was invoked by still growing density of transportation and by a necessity to carry out operational planning of automotive transportation. It brings demanding computational problems. Classical methods of solving approach to these problems can lead to optimal solution but their usage is not possible beyond some range of complexity in real time. Tasks of this type can be solved by accurate mathematical methods only up to some extent of their intricacy. That is why it is valuable to look for new computational methods on the field of transportation modeling. It is generally true that more complex tasks can be solved by using heuristic methods, above all. For example it can be unraveled by the ACO method used in this thesis.

The elaboration and generalization of the ACO method theory contributes and will contribute to creation of further processes with more favorable features. Even if there are some other applicable methods on this field in practice at present, the ACO method is regarded to be a great promise for further development of modeling methods in the area of transportation.

The results of this thesis lead to the conclusion that it will be necessary to start to incorporate various qualitative methods (artificial intelligence, fuzzy set, rough set, etc.) into the ACO method algorithms, which should bring an array of excellent results mainly for modeling of complex combinatorial tasks.