

SPOJENIE GIS PROSTRIEDKOV A METAHEURISTÍK PRE RIEŠENIE OKRUŽNÝCH JÁZD V INTRAVILÁNE MIEST

APPLICATION OF GIS TOOLS AND METAHEURISTICS FOR THE SOLUTION OF STREET ROUTING PROBLEMS

Ing. Peter Matis

KDS, FRI, ZU Zilina
Peter.Matis@fria.utc.sk

Abstract

Obsluha veľkého množstva zákazníkov v rámci intravilánu mesta je častou súčasťou mnohých logistických reťazcov. Kapacita obslužného vozidla je limitovaná a súčasne jedno vozidlo je schopné obslúžiť pomerne veľké množstvo zákazníkov. Úlohy takýchto vlastností sa často nazývajú aj úlohami okružných jász v intraviláne mesta. Sú ukázané základné rozdiely medzi bežnými úlohami okružných jász (Vehicle Routing Problem – VRP) a okružnými jazdami v intraviláne miest (Street Routing Problem – SRP). Hlavným problémom SRP je veľký počet zákazníkov a počet možných kombinácií ako ich utriediť do jednotlivých okružných jász je nepredstaviteľný. Ako ukazujú experimenty na vzorke SRP expertné odhady priebehu okružných jász sa môžu líšiť od optimálnych v rozmedzí 10% až 25%. V článku sú popísané efektívne spôsoby riadenia okružných jász v intraviláne miest pomocou systémov na podporu rozhodovania okrem iného aj geografickými informačnými systémami. V článku sa okrem bežných kvantitatívnych mier vhodnosti riešenia používaných pri riešení všeobecných okružných jász ako sú, celková dĺžka všetkých jász alebo celkový čas trvania jednotlivých jász, používajú ďalšie väčšinou kvalitatívne hodnotenia získaného riešenia. Všetky takéto kvalitatívne hodnotenia sú nazvané jedným termínom – vzhľadová atraktivita. Je prezentovaný vzťah medzi kvantitatívnymi a kvalitatívnymi mierami pri hľadaní vhodného riešenia, ktorý poskytuje nádej pre nájdenie takých riešení ktoré sú vhodné pre praktické použitie. Okrem iného sú prezentované porovnania niekoľkých známych úsporných heuristik na reálnych údajoch a tiež nová metaheuristika špecializovaná na tento typ problémov. Dôležitou vlastnosťou geografických informačných systémov pre použitie v riešení okružných jász v intraviláne miest je interaktivita a užívateľsky priateľské prostredie a pritom otvorenosť celého systému. Softvér dokáže nájsť dobré riešenie, preskúmať veľkú množinu možností a odborník môže tieto zmeniť s možnosťou nájsť iné akceptovateľné riešenia. Je ukázaná aplikácia spojenia metaheuristiky s ArcView a ich použitie pre riešenie problémov adresnej pošty vo vybraných mestách Slovenskej republiky pre Slovenskú Poštu a.s. Spomenuté sú vlastnosti iných systémov pre podporu rozhodovania pre riešenie problémov okružných jász ako sú TRANSCAD od firmy Caliper a GeoRoute vytvorený firmou GIRO pre Kanadskú poštu.

Abstract

Servicing a large number of customers in a city zone is often a part of many logistics chains. The capacity of one delivery vehicle is limited, and at the same time, it usually serves a large number of customers. These problems are often called a Street Routing Problem (SRP). Key differences between Vehicle Routing Problems (VRP) and SRP are presented. The main problem of SRP is that the number of customers is large and the number of delivery path combinations is enormous. As the experimental results show in the case of SRP, the error on the length of delivery routes based on an expert's judgment when compared to optimal solution is in the range of 10%-25%. As presented in the paper, the management of SRP could be effectively done only by using decision support systems such as Geographical Information Systems (GIS). Besides of classical measurements used in Vehicle Routing Problems as total length of routes or time required for delivery in each route other mostly qualitative measurements are presented. All these are named as visual attractiveness. In this paper it is presented possible relationship between quantitative and qualitative measurements that gives a promise for finding good solutions of SRP. Several saving based heuristics are evaluated on the real data and then compared to the new heuristic algorithm for solving SRP. One of the key properties of GIS for use with the routing software is the interactive and user-friendly environment that is flexible. Routing software can find a good solution and explore the possibilities and an expert can change calculated routes to explore other possibilities based on the expert's judgment. Paper presents practical use of new heuristics with the ArcView and solution of address mail for several cities in Slovakia served by Slovak Post a.s. Other Decision Support Systems that solve SRP are presented as TRANSCAD developed by Caliper corporation or GeoRoute developed by Canadian Post and GIRO.

Úvod

Obsluha početného množstva požiadavok v rámci intravilánu obcí alebo miest predstavuje častý prípad, alebo sa vyskytuje ako súčasť mnohých distribučných systémov. V tomto podsysteme sú k jednotlivým spotrebiteľom dodávané (alebo odoberané) určité množstvá komodity zo zdroja (centra) dopravnými prostriedkami alebo pešo. Hmotnostná a časová kapacita dopravného prostriedku alebo osoby zabezpečujúcej obsluhu požiadavok býva obmedzená, ale obvykle je možné obslúžiť daným prostriedkom alebo osobou väčšie množstvo odberateľov. Úlohy danej kategórie sú náročné a patria k NP zložitým úlohám, a preto je ich riešenie neoddeliteľne spojené s aplikáciou informatických nástrojov.

Aj keď dnes existujú elektronické databázy dopravných infraštruktúr a iné elektronické databázy, ktoré sa dajú využiť na riešenie reálnych trasovacích algoritmov, zber, udržiavanie a kalibrácia digitálnych údajov o dopravnej infraštruktúre predstavuje stále pomerne veľký problém. Okrem toho je potrebné udržiavať informácie o odberateľoch a umiestniť ich na správne miesto v elektronickej mape (geokódovanie). Údaje majú často určitú nepresnosť. Táto nepresnosť môže spôsobovať problémy pri určení dobrého riešenia obsluhy odberateľov. Chyby digitálnych údajov sa výraznejšie prejavujú v SRP nakoľko množstvo údajov v SRP je obvykle veľké. Aby bolo možné efektívne udržiavať digitálne mapy a ďalšie údaje používané pri riešení SRP je potrebné mať prostriedok, ktorý to umožňuje a dovoľuje rozširovať údaje a aj funkčnosť celého systému. Takým prostriedkom sa v súčasnosti javí geografický informačný systém (GIS).

Experimentálna vzorka

SRP nie je veľmi preskúmaný typ úlohy a nie je verejne dostupná vhodná vzorka údajov na základe ktorých by sa dalo skúmať existujúce riešenie s novými prístupmi. Publikácie, ako napríklad [1] riešia obvykle konkrétne prípady a nie je možné jednotlivé prístupy navzájom porovnať vzhľadom na špecifiká jednotlivých riešených úloh.

Je potrebné používať vlastnú experimentálnu vzorku, ktorá pokryje čo najlepšie typické SRP a súčasne ju možno použiť na porovnanie jednotlivých riešení. Ako experimentálna vzorka boli použité vybrané sídelné celky (jednotky) SR. Odberatelia v rámci experimentálnej množiny boli definovaní ako vchody domov alebo blokov. Pre určenie vzdialenosti medzi odberateľmi bola použitá úplná uličná infraštruktúra jednotlivých sídelných celkov.

Údaje boli získané manuálnym zberom zo základných máp ZM 1:10000 poskytnutých od Geografického a Kartografického ústavu SR (GKÚ). Celkový počet odberateľov v experimentálnej vzorke je 101977 a celkový počet sídelných jednotiek je 90 čo predstavuje priemerne 1133 odberateľov na jednu sídelnú jednotku. Štatistický úrad SR vykazuje priemerný počet domov na jeden sídelný celok pre všetky sídelné celky Slovenska rovný 421.

Častou vlastnosťou úloh SRP je, že obsluha odberateľov v slede za sebou môže byť vykonaná niekoľkými spôsobmi a záleží na viacerých faktoroch ako bude realizovaná v konkrétnom prípade.



Obr. 1 Spôsoby obsluhy odberateľov v SRP.

Rozdiely SRP oproti VRP

Rozdielnosť úloh ktoré môžeme zaradiť do kategórie SRP oproti VRP spočíva v mnohých vlastnostiach. Medzi mnohými charakteristikami a rozdielnosťami SRP je treba spomenúť:

- Počet odberateľov v typických SRP je mnohonásobne vyšší ako počet odberateľov v klasických VRP úlohách.
- Odberatelia sú vo veľkom množstve sústredení na pomerne malej ploche územia.
- Hustota dopravnej siete – pomer súčtu dĺžok dopravných úsekov infraštruktúry k ploche územia intravilánu je v SRP pomerne veľká v porovnaní s bežnou dopravnou sieťou cestnej infraštruktúry v rámci väčšieho územia a teda existuje omnoho väčší počet kombinácií ako možno postupne navštíviť jednotlivých odberateľov.
- Naproti tomu, vzdialenosť medzi jednotlivými odberateľmi v SRP je obvykle malá a teda prechod medzi nimi je možný len po malej množine uličných úsekov.
- Dopravné obmedzenia viažuce sa na dopravný prostriedok a dopravnú infraštruktúru, ako nemožnosť otáčania sa vozidla na určitých úsekoch ulice, nemožnosť prechodu ulice pešo z jednej strany na druhú.
- Dopravné obmedzenia vyskytujúce sa na dopravnej infraštruktúre v rámci mestskej a vidieckej zástavby sú častejšie a komplikovanejšie ako dopravné obmedzenia na bežnej cestnej infraštruktúre mimo zástavby. Tieto obmedzenia môžu výrazne ovplyvniť priebeh obsluhy a s tým spojené náklady na obsluhu, ako nemožnosť otáčania sa vozidla na určitých úsekoch ulice, nemožnosť prechodu ulice pešo z jednej strany na druhú.
- Prístup k odberateľom z dopravnej infraštruktúry je definovaný a je ho potrebné dodržať
- Doba obsluhy jedného odberateľa je pomerne krátka a tak v sú v jednej obslužnej trase zaradené veľké množstvá odberateľov.
- Počet odberateľov obslužených jednou trasou je obvykle pomerne vysoký (viac ako 100 odberateľov).
- Je potrebná úplná digitálna mapa dopravnej infraštruktúry .
- Čas obsluhy alebo množstvo tovaru dodané k jednotlivým odberateľom má často náhodný charakter a v mnohých prípadoch nie je nutné v danej trase odberateľa obslužiť. Je potrebné navrhnuť trasu tak, aby priemerná záťaž bola v stanovenej kapacite a aby bolo riešenie blízke optimu z pohľadu nákladov. Pri reálnej obsluhu je teda možné že krátkodobo bude kapacita dopravného zariadenia nedodrzaná.

- Bezpečnosť personálu vykonávajúceho obsluhu odberateľov je obvykle dôležitý faktor SRP vzhľadom na hustotu dopravy v rámci intravilánov miest a obcí a je potrebné tento faktor zohľadniť pri riešení týchto úloh.
- Typ prístupu k odberateľom z dopravnej infraštruktúry má výraznejší vplyv na celkové riešenie úlohy.
- Často sa vyskytujú prípady, že odberatelia sú obslužení rozličnými módami dopravy a toto môže mať významný vplyv na hodnotu celkového riešenia.
- Jednotlivé trasy sa môžu často križovať s inými alebo samými sebou.
- Obtiažnosť pri získavaní a udržiavaní aktuálnych údajov o infraštruktúre vyžadujú interaktívne zásahy do riešenia úloh.

Agregácia odberateľov

Praktické experimenty [2] ukazujú, že ak chceme aplikovať VRP heuristiky na SRP je v mnohých prípadoch potrebné agregovať odberateľov do zhlukov. Jedna z hlavných potrieb agregácie je fakt, že výpočtový čas bežných VRP heuristik rastie veľmi rýchlo s rastúcim počtom odberateľov. V experimentoch boli skúmané vlastnosti nasledujúcich typov agregácií.

- Vzdialenostná agregácia, kde sa agregujú odberatelia na základe vzájomnej vzdialenosti, tak aby maximálna vzdialenosť medzi odberateľmi neprekročila určitý limit, pričom je možné umiestniť do jedného zhuku odberateľov z rozličných uličných úsekov.
- Líniová agregácia, pri ktorej je možné agregovať odberateľov na jednej strane uličného úseku tak aby maximálna vzdialenosť odberateľov v zhuku neprekročila určitý limit.
- Líniovo-segmentová agregácia je špeciálny prípad líniovej agregácie, pri ktorej sú agregovaní do jedného zhuku všetci odberatelia na jednej strane ulice bez ohľadu na dĺžku uličného úseku.
- Adresná agregácia predstavuje špeciálny prípad agregácie pri ktorom sa utvorí zhuk na základe spoločnej alebo podobnej adresy, napríklad jeden blok panelového domu.

Experimenty ukazujú že najlepšia agregácia z pohľadu zníženia počtu odberateľov je vzdialenostná agregácia. Na druhej strane táto agregácia vykazuje pomerne vysokú priestorovú deformáciu pozícií stredov agregátov (nových odberateľov).

Kvalitatívne hodnotenie výsledného riešenia

Pri praktickej aplikácii heuristik na riešenie SRP je potrebné sledovať nielen známe kvantitatívne parametre ako celková dĺžka okružných jazd, hmotnostné, časové, objemové, a iné limity pre jednotlivé okružné jazdy ale aj iné väčšinou kvalitatívne vlastnosti získaného riešenia. Medzi jednu z takýchto vlastností patrí grafická podoba riešenia – vzhľadová atraktivita.

Vzhľadová atraktivita je veľmi dôležitá z praktického pohľadu a výsledná grafická podoba okružných jazd často rozhoduje o tom či bude riešenie užívateľmi systému akceptované. Poot a kol. definujú možné spôsoby merania vzhľadovej atraktivity [4]. Neexistuje dostupná publikácia ktorá by sa zaoberala podrobne spôsobmi merania týchto parametrov a tak sme navrhli na základe experimentov [2] nasledovné miery.

Trasa je kompaktná ak všetci zákazníci na okružnej jazde sú v približne rovnakých vzdialenostiach. Napríklad pre okružnú jazdu i :

$$COMP_i = \frac{AvgDist_i}{AvgMaxDist_i} \quad (1)$$

kde $AvgDist_i$ je priemerná vzdialenosť dvoch po sebe idúcich odberateľov v okružnej jazde i , a $AvgMaxDist_i$ je priemerná vzdialenosť z 20% najväčších vzdialeností medzi dvoma po sebe nasledujúcimi odberateľmi v rámci okružnej jazdy i .

$DGRB_i$ reprezentuje vzťah vzdialenosti odberateľov od ťažiska okružnej jazdy i . O_i je množina všetkých odberateľov obsluhovaných jazdou i . \hat{O}_i je množina odberateľov ktorí sú obsluhovaní okružnou jazdou i , ale majú podľa vzdušnej vzdialenosti bližšie k ťažisku inej okružnej jazdy.

$$DGRB_i = 2 * \left(1 - \frac{|\hat{O}_i|}{|O_i|} \right) - 1 \quad (2)$$

A vzhľadová atraktivita je definovaná nasledujúcim vzťahom:

$$VA_i = \frac{1}{\left(\frac{NC_i}{5} + \frac{1}{DGRB_i} + \frac{1}{COMP_i} - 1 \right)} \quad (3)$$

kde NC_i je počet križovaní okružnej jazdy i s inými okružnými jazdami. Hodnota vzhľadovej atraktivity je v ideálnom prípade rovné hodnote 1 ale vzhľadom na reálne rozmiestnenie odberateľov nie je možné často dosiahnuť hodnotu lepšiu ako 0.6.

Zhodnotenie navrhovaných heuristik

Podľa dostupnej literatúry neexistuje zatiaľ špecializovaná heuristika zohľadňujúca špecifiká SRP a sledujúca aj iné ako kvantitatívne hľadiská. Pokúsil som sa navrhnúť, implementovať a overiť na experimentoch 9 nových heuristik [3] ktorých vlastnosti dokumentuje tabuľka 1.

Navrhované a experimentálne odskúšané heuristiky sú:

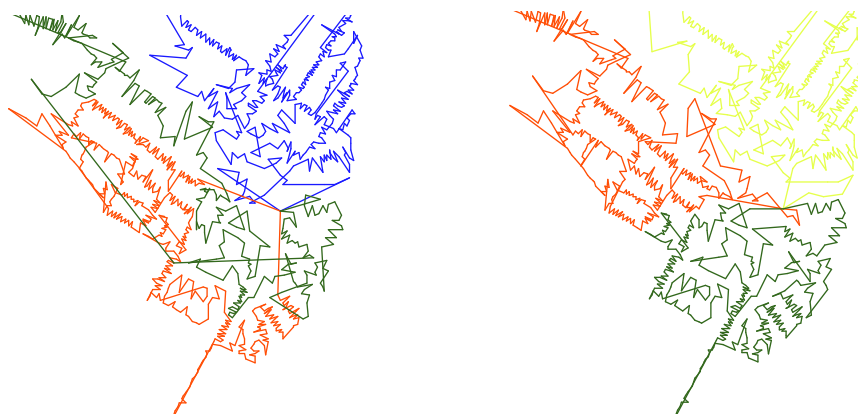
- Heuristiky založené primárne na zhlukovaní
 - UCFRS - pažravý algoritmus
 - UCFRS2 - vylepšený pažravý algoritmus
- Tvarovacie heuristiky
 - Dvojfázová heuristika (DH)
 - Upravená dvojfázová heuristika (UDH)
- Metaheuristiky
 - Tabu search
- Heuristiky zohľadňujúce vzhľadovú atraktivitu
 - Upravená Yellow heuristika
 - UDH-VA
- Heuristiky s nejednoznačným zhlukovaním
 - Fuzzy cluster heuristika (FCH)
- Heuristiky so zmiešaným modelom obsluhy hrán a vrcholov

- DH využívajúca NEARP štruktúru reprezentácie grafu

Heuristika	ÚRY	AvgGRB	AvgKomp	AvgKriz	VzhlAtr	Čas
Sweep	75	0.6	0.43	0	0.29	7.5
Yellow	0	0.79	0.54	3.2	0.35	125.7
UCFRS	16	0.89	0.47	6.1	0.28	11.5
UCFRS2	10	0.93	0.51	3.5	0.40	21.3
DH	-3	0.70	0.55	4.1	0.38	428.5
UDH	-3.6	0.69	0.55	5.3	0.38	753.2
TABU-UDH	-4.0	0.77	0.55	5.2	0.39	12652.3
UYellow	-1.5	0.71	0.57	4.2	0.42	89468.2
UDH-VA	-2.2	0.76	0.58	3.6	0.44	279.3
FCH	-1.4	0.68	0.56	4.7	0.39	212.1
DH-NEARP	-0.4	0.69	0.50	5.4	0.34	12.4

ÚRY priemerná odchýlka účelovej funkcie oproti riešeniu získanému Yellow heuristikou [%], AvgGRB – Priemerná relatívna vzdialenosť od GRB voči dĺžke trasy, AvgKomp – priemerná kompaktnosť okružných jazd, AvgKriz – Priemerný počet križovaní okružných jazd, VzhlAtr – Priemerná vzhľadová atraktivita, Čas – priemerný čas výpočtu [s]

Tab. 1 Porovnanie vytvorených heuristik pre SRP prípady s viac ako 1000 odberateľmi.



Obr. 2 Okružné jazdy pre Malacky získané Yellow heuristikou a DH.

Z tabuľky 1. vyplýva že neexistuje univerzálna heuristika, ktorá by dokázala nájsť riešenie, ktoré by bolo kvantitatívne a kvalitatívne vždy to najlepšie riešenie. Preto je potrebné v nástroji pre podporu rozhodovania umožniť užívateľovi vybrať si akým spôsobom chce získať riešenie alebo dokonca aj špecifikovať heuristiku ktorú chce použiť.

Nástroj pre podporu rozhodovania pri riešení SRP

Jednou z hlavných príčin prečo nie sú matematické modely alebo heuristiky prakticky používané pri riešení SRP (na území Slovenska) je že neexistuje ucelený nástroj a metodiky

pre podporu rozhodovania. Pre úspešnú aplikáciu výskumu problematiky SRP v organizáciách je potrebné, aby nástroj na podporu rozhodovania pri riešení SRP spĺňal nasledujúce požiadavky:

- Dôležitá je interpretácia výsledkov (graficky) a možnosť vizuálnej kontroly výsledkov.
- Rozdielnosť údajov a konkrétnych úloh vyžaduje rozdielne riešiacie postupy. Operátor prostriedku môže vybrať vhodnú metódu na riešenie konkrétnej úlohy, alebo je výber automatizovaný.
- Musí poskytovať možnosť interaktívnych zmien výsledkov a kvantitatívne hodnotenie týchto zmien.
- Je potrebné aby nástroj dovolil overiť vhodnosť riešenia pomocou simulácie.

Vo svete existuje niekoľko aplikácií, ktoré v sebe obsahujú podporu pre riešenie dopravných problémov, ktoré by bolo možné používať pri riešení SRP napríklad:

- GeoRoute od firmy GIRO, predstavuje samostatný softvér na riešenie úloh, ktoré majú SRP charakter. Je to uzatvorený systém.
- ArcGIS Network Analyst je nadstavba pre štandardný GIS od firmy ESRI. Je otvorený systém. Úlohy riešiteľné pomocou tejto aplikácie majú charakter VRP. Množina heuristik, ktoré je možné využívať je veľmi limitovaná.
- TRANSCAD od firmy Caliper je špecializovaný GIS pre dopravné problémy a dopravné plánovanie. Obsahuje heuristiky na riešenie VRP alebo ARP nie však na riešenie SRP.
- GeoMap od firmy GeoMap predstavuje samostatný softvér na základe GIS a CAD vlastností. Z pohľadu používaných riešiacich algoritmov je to uzatvorený systém, a nie je možné experimentovať s inými ako systémom ponúkanými heuristikami. Rieši VRP úlohy.

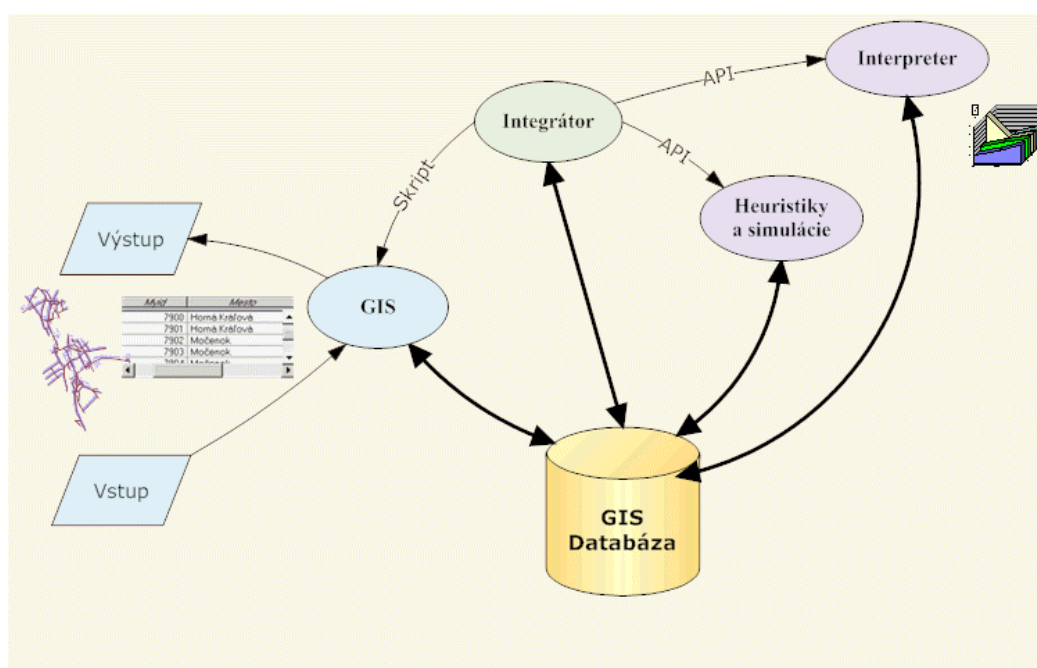
Dôležitou súčasťou nástroja je zobrazenie a editovanie geografických údajov. Vizualizácia prináša akceptovateľnosť matematických modelov širšou verejnosťou. Ďalším nie menej dôležitým prínosom vizualizácie je, že operátor môže objaviť problémy a nezrovnalosti, ktoré v matematickom modeli nie je mnohokrát možné implementovať. Operátor môže zmeniť počiatočné podmienky riešenej úlohy, zohľadňujúc tieto anomálie a otestovať nový model, akceptovať ho alebo ďalej upraviť. Postupnými iteráciami, keď operátor vykonáva spomenuté riadiace činnosti a nástroj rieši detaily, je možné dospieť k veľmi dobrým riešeniam.

Z pohľadu úspory času potrebného na implementáciu nástroja bol zvolený GIS ako prostriedok zobrazenia a tiež udržiavanie základnej databázy. Schéma prepojenia komponentov nástroja je dokumentovaná na obrázku 3.

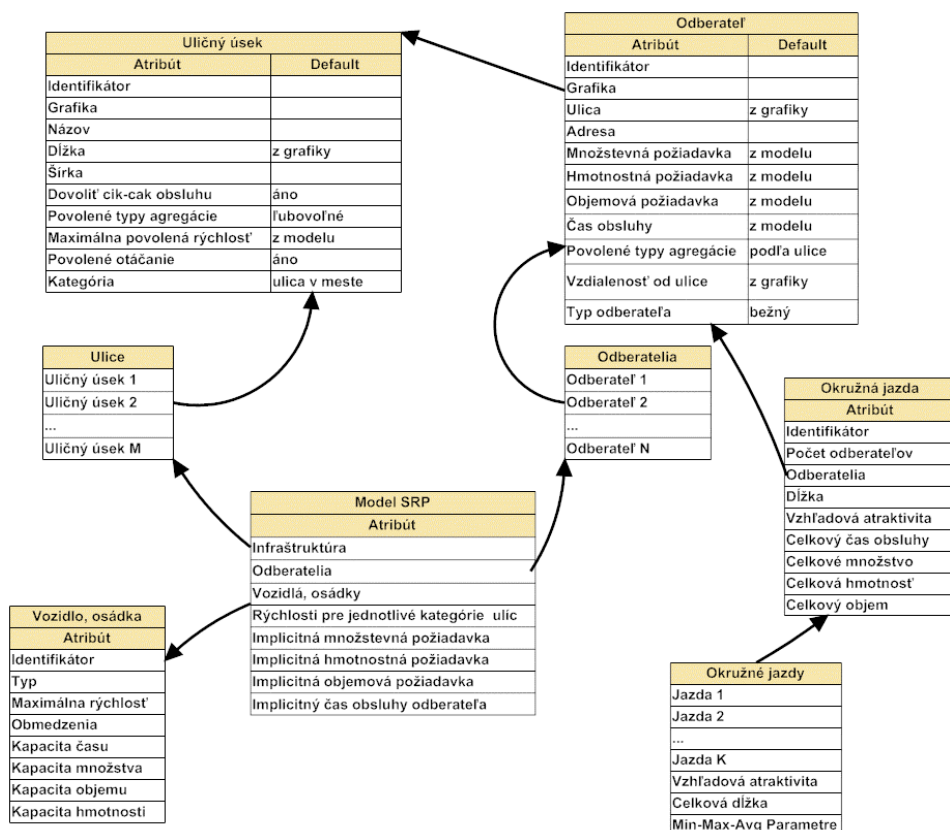
Integrátor predstavuje hlavné užívateľské rozhranie. Umožňuje kontrolovať jednotlivé heuristiky, prepojenie údajov na GIS a interpreter, slúži na tvorbu modelu SRP. V nástroji bol použitý GIS ArcView od firmy Esri, pre svoju otvorenosť a možnosť ovládania funkčností. GIS je riadený z integrátora pomocou Avenue skriptovacieho jazyka, C#, Vbasic podľa použitej verzie ArcView. GIS v nástroji zabezpečuje funkciu editora údajov jednotlivých SRP úloh, funkciu vizualizácie riešenia, funkciu úprav riešenia. Modul heuristik

obsahuje okrem samotných heuristik systém pre správu modelu SRP a algoritmy pre vyhodnocovanie kvantitatívnych a kvalitatívnych parametrov modelu a riešení. Interpreter je doplnkový modul, ktorý slúži na vizualizáciu ďalších parametrov SRP prostriedkami, ktoré nie sú v GIS dostupné.

Pre zjednodušenie nástroja sa predpokladá, že údaje v GIS databáze pre jednotlivé SRP prípady majú unifikovanú podobu. Údaje sú uložené v prirodzenej podobe vlastnej GIS prostriedku, v tomto prípade je grafická a atribútová časť databázy v Esri shapefile. Riadiace prvky modelu a získané výstupy sú uchovávané v shapefile a relačnej databáze. Obrázok 4 dokumentuje prvky GIS databázy a ich prepojenie.



Obr. 3 Schéma prepojenia komponentov nástroja na podporu rozhodovania pri riešení SRP



Obr. 4 Model databázy GIS pre SRP

Ak niektorý atribút v GIS databáze nie je nastavený alebo neexistuje je v nástroji použitá implicitná hodnota, čo umožňuje riešiť SRP aj nad údajmi ktoré neboli pôvodne určené pre tento nástroj. Minimálna množina údajov potrebných pre použitie nástroja je grafická reprezentácia dopravnej infraštruktúry a polôh odberateľov.

Záver

Príspevok sumarizuje možnosti riešenia obsluhy početného množstva požiadaviek v rámci intravilánu obcí alebo miest za pomoci prepojenia GIS prostriedku a metaheuristik. Sú prezentované rozdiely pri riešení SRP oproti klasickým VRP. Je ukázané aké dôležité sú aj iné zväčša kvalitatívne hľadiská pri výbere vhodnosti riešenia. Je ukázaná a realizovaná možná implementácia nástroja na podporu rozhodovania pri riešení SRP úloh za podpory GIS prostredia.

Použitá literatúra

1. Amponsah S.K. – Salhi S.: The investigation of a class of capacitated arc routing problems: the collection of garbage in developing countries, *Waste Management* 24, 2004, s. 711 – 721.
2. Matis P.: Management of street routing problems using decisions support system, *Communications* 3, Žilinská univerzita v Žiline, 2006, s. 5 – 8

3. Matis P.: The relationship between quantitative and qualitative measurements in solving of street routing problems, 15th International Scientific Conference on Mathematical Methods in Economics and Industry, Herlany 2007, s. 144 – 152.
4. Poot A. – Kant G. – Wagelmans A.: A Saving based method for real-life vehicle routing problems, Journal of the Operational Research Society, Vol. 53, 2002, s. 57-68
5. Ruiz R. – Maroto C. – Alcaraz J.: A decision support system for a real vehicle routing problem, European Journal of Operational Research 153, 2004, s. 593 – 606.
6. Silva C G. – Figueira J. – Lisboa J. – Barman S.: An interactive decision support system for an aggregate production planning model based on multiple criteria mixed integer linear programming, Omega 34, 2006, s. 167 – 177