

## Spatial aspects of waste collection in GIS

### Prostorové aspekty svozu komunálního odpadu v prostředí GIS

Heisig, J.<sup>1</sup>, Voženílek, V.<sup>1</sup>, Kostkan, V.<sup>2</sup>, Laciná J.<sup>2</sup>, Hekera, P.<sup>2</sup>, Mazalová M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Katedra geoinformatiky*

*Univerzita Palackého v Olomouci, tř. Svobody 26, Olomouc*

<sup>2</sup>*Katedra ekologie a životního prostředí*

*Univerzita Palackého v Olomouci, tř. Svobody 26, Olomouc*

[jan.heisig@gmail.com](mailto:jan.heisig@gmail.com)

Klíčová slova: model, data, svoz odpadů, GIS

Keywords: model, data, waste collection, GIS

#### Abstrakt

Článek pojednává o problematice modelování svozu odpadů v prostředí geografického informačního systému (GIS). Na základě dostupné zahraniční literatury byl vytvořen model pro svoz komunálního odpadu. Model je v příspěvku popsán, jsou rozebrány výhody a nevýhody modelu. Důraz při modelování je dán na prostorovou složku. Popsány jsou také jednotlivé vstupní datové sady, jejich formát a dostupnost. Aplikace těchto modelů bude provedena na příkladu odpadového hospodářství města Olomouce.

#### Abstract

The aim of this paper is focused on waste collection modeling in geographic information system (GIS). It was created and tested a waste collection model. The model is described including its advantages and disadvantages. The model is focused on spatial datasets, their format and accessibility for case studies in Olomouc and other cities of the same size.

#### Úvod

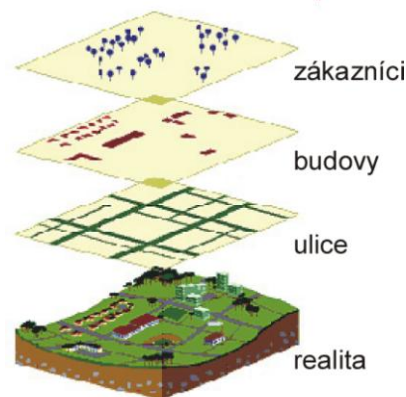
Svoz odpadů je proces, při kterém jsou jednotlivé oblasti a lokality obsluhovány svozovým vozidlem za účelem svozu a přepravy odpadu z těchto míst do místa uložení.

Přeprava zajišťuje fyzické přemístění výrobků z místa výroby do místa spotřeby. Podílí se částečně na přínosu času. Zároveň však přeprava generuje jedny z nejvyšších nákladů logistiky a často se významně podílí na prodejní ceně, především u produktů s nízkou hodnotu na hmotnostní jednotku (Hýblová, 2006).

Optimalizace svozu odpadu je pak proces, při kterém dochází na základě analýzy stávajícího stavu k jeho zefektivnění a ekonomické úspoře nákladů především pomocí prostorové a časové úpravy vedení tras svozu a přepravy odpadů.

Protože řešení problematiky optimalizace svozu odpadů je prostorově založená úloha, je vhodné použít prostorová data a prostorově založené metody. Pro modelování problematiky v prostoru jsou vhodné informatické systémy pracující v geografickém prostoru - geografické informační systémy (zkráceně GIS). Podle Voženílek (1998) je GIS organizovaný, počítačově založený systém hardwaru, softwaru, geodat a lidí vyvinutý ke vstupu, správě, analytickému zpracování a prezentaci prostorových dat s důrazem na jejich prostorové analýzy.

GIS umožňuje pracovat s reálnými geografickými daty, které jsou reprezentovány jak vektorově-objektově, tak i rastrově-obrazově. Každému objektu nebo pixelu obrazu je možné přiřadit alespoň jednu neprostorovou informaci ve formě uložení atributu v databázi. Další nedílnou částí GIS jsou metody a algoritmy, které jsou do něj implementovány pomocí programovacích jazyků, a pomocí kterých je možno modelovat a řešit prostorovou úlohu. Nejrozšířenějším programovým prostředkem z prostředí GIS se jeví program ArcGIS od americké společnosti ESRI se svými nadstavbami Network Analyst. Tento software je využívám v mnoha aplikačních oborech, včetně dopravně-svozové problematice.



Obr. 1. Modelování reálného světa v GIS pomocí datových vrstev.  
(zdroj: [http://www.kingston.ac.uk/~gr\\_s045/gis\\_for\\_teachers/Intro\\_GIS/intro\\_article.htm](http://www.kingston.ac.uk/~gr_s045/gis_for_teachers/Intro_GIS/intro_article.htm)).

## Data a datový model svozu komunálního odpadu

V problematice systému nakládání s tuhými komunálními odpady je jejich svoz nejnákladnějším položkou v rámci celkových nákladů na likvidaci odpadu. Za účelem snížení celkových nákladů na likvidaci tuhých komunálních odpadů je nutné provedení optimalizace svozových tras na základě analýzy vedení stávajících tras (Apaydin, O. a Gonullu MT., 2007).

Důvodem vytvoření modelu je optimalizace stávajícího stavu odpadového hospodářství města Olomouce, který vychází ze zažitého stavu, jenž dosud nebyl analyzován ani optimalizován pomocí počítačově založeného systému.

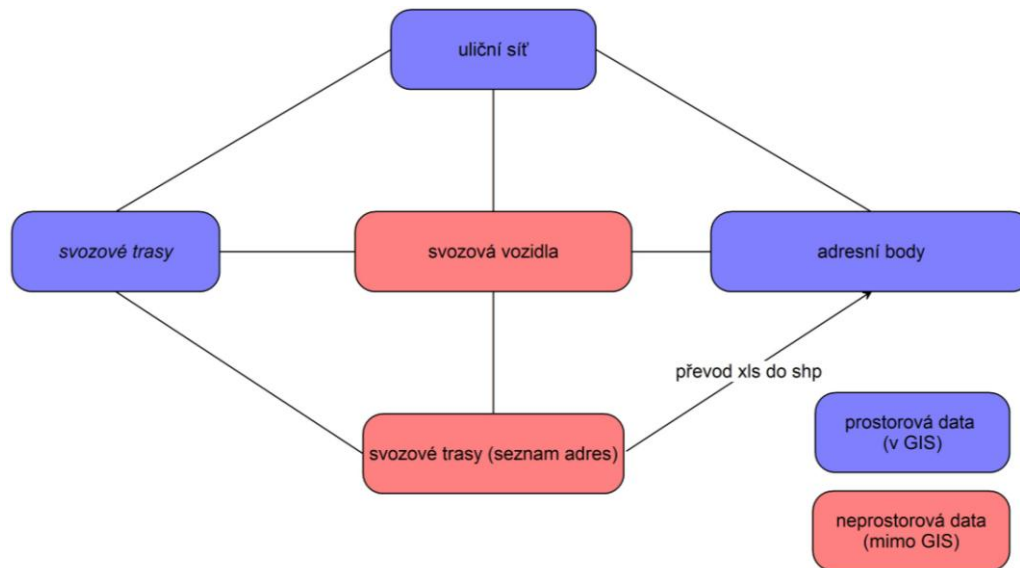
Model svozu komunálního odpadu vychází ze skutečnosti, kdy je každý majitel nemovitosti zodpovědný dokladovat, jak nakládá s vyprodukovaným komunálním odpadem. V praxi to znamená, že vlastní nebo má pronajmuty nádoby na komunální odpad a sjednává si službu pravidelného svozu komunálního odpadu.

Hlavním cílem je přiřadit každému (svozovému) vozidlu podmnožinu míst k obsluze a vytvořit tak sled obsluhovaných míst, který minimalizuje celkové náklady na dopravu a svoz. Výsledkem je časoprostorová optimalizace stávajícího stavu vedení svozových tras.

Základem tohoto modelu jsou informace o předpokládaném množství vyprodukovaného komunálního odpadu na úrovni podrobnosti adresy a jeho prostorové diferenciaci v městském prostoru. Optimální GIS model pro vedení tras vychází z parametrů, jako je hustota obyvatelstva, množství vyprodukovaného odpadu, silniční síť včetně rozdělení na typy komunikací, nádob na odpad a svozová vozidla apod. je vyvinut a používán k trasování svozových vozidel s minimálními náklady/vzdáleností pro efektivní sběr přepravu odpadů na skládky (Ghose MK, 2006).

Nádoby na komunální odpad jsou umístěny podle příslušnosti k adresám (adresním bodům) z nichž je komunální odpad svážen. Komunální odpad je dočasně skladován v nádobách, které jsou dostupné v několika objemových variantách od 110 l až po 5000 l. Volba typu a počtu

jednotlivých nádob a četnost vývozu odpadu jsou prováděny na základě žádosti majitele. Svoz komunálního odpadu z jednotlivých adresních míst je prováděn svozovým vozidlem po svozové trase. Svozové vozidlo má se pohybuje městským prostorem ulicemi (uliční sítí) a svozová trasa je seznamem míst (adres), které jsou svozovým vozidlem obsluhovány. Z pohledu typu vstupních dat tento model pracuje s neprostorovými i prostorovými daty v GIS (obr. 2).



Obr. 2. Datový model s vazbami mezi jednotlivými datovými sadami pro řešení svozu komunálního odpadu v Olomouci.

Vzájemná vazba mezi prostorovými a neprostorovými daty je skrze adresu, která je zde jedinečným identifikátorem. Přesná informace o adrese je vždy obsažena v seznamu obsluhovaných adres (obr. 5) tak i v datové sadě adresních bodů (obr. 4).

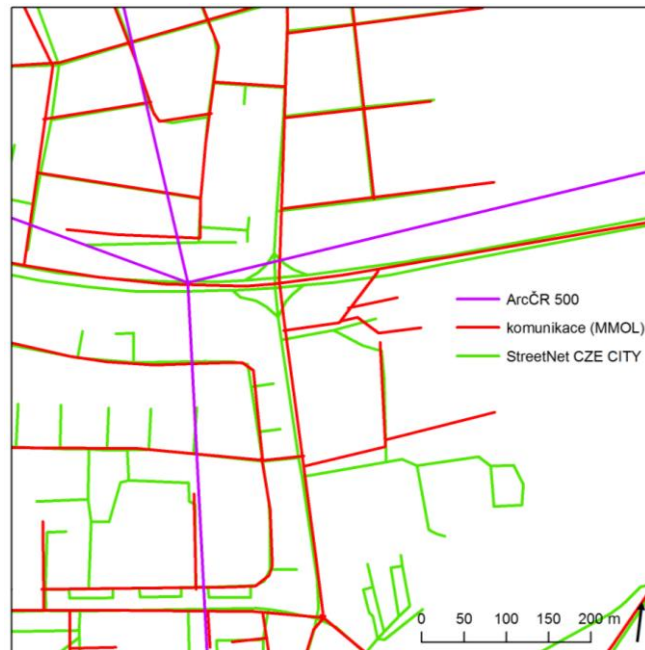
Tab. 1 Vstupní datové sady pro svoz komunálního odpadu na příkladu města Olomouce.

Datová sada	Popis	Formát
uliční síť (síť ulic)	Prostorová liniová vektorová datová sada pro síťové analýzy	shapefile
adresní body	Prostorová vektorová bodová datová sada včetně počtu trvale přihlášených obyvatel v každém domě (adrese)	shapefile
svozové trasy (seznam tras)	Seznam tras s podrobným výčtem obsluhovaných adres. Datová sada obsahuje data o vyvážených nádobách na odpad a frekvenci svozu odpadů pro každou adresu	xls (ms excel)
svozová vozidla	Neprostorová datová sada technický parametrů svozových vozidel včetně kapacity ložného prostoru (objem a nosnost)	seznam
svozové trasy	Prostorová liniová datová sada s svozových tras	xml/gpx (převod ze záznamů GPS)

### ***Uliční síť***

Uliční síť lze obecně chápat jako vektorovou datovou vrstvu, která reprezentuje ulice v prostorovém modelu. V terminologii teorie grafů jde o ekvivalent hran grafu, po kterých je vykonáván modelový pohyb svozovým vozidlem.

Nejdůležitějšími kritérii pro použití dat je prostorová a atributová přesnost, od kterých se odvíjí účel, ke kterému byla data původně vytvořena. Prostorová přesnost (obr. 3) je důležitá pro metrickou přesnost výpočtu trasy.



Obr. 3. Uliční síť z různých zdrojů s různou prostorovou přesností.

V atributové části jsou uloženy parametry komunikace jako např. jednosměrnost (zákaz vjezdu), typ a třída komunikace, funkční kategorizace komunikace, číslo komunikace, zda jde o komunikaci v obci či mimo obec, zda je úsek komunikace zpoplatněn apod. Tyto parametry jsou důležité pro správné trasování vozidel blízké reálnému provozu.

### ***Adresní body***

Adresní bod je bod reprezentující adresní místo budovy, který je definován jako adresa, tedy jedinečnou kombinací obvykle názvu obce, ulice a čísla popisného nebo evidenčního.

Adresní bod se obvykle volí tak, aby v mapovém podkladu adresní místo vhodně reprezentoval, např. byl blízký reálného vchodu a leží směrem k ulici a veřejnému prostranství, které je součástí příslušné adresy (neexistuje-li číslo orientační), a dále aby každopádně byl vnitřním bodem budovy (neexistuje-li ani UVP), tj. aby byl volen tak, aby svojí polohou co nejlépe vystihoval adresní místo [1].

Vedle čistě lokalizační funkce adresní body obsahují i informace např. o počtu bytů, příslušnosti k místní části města apod.

Každá obec, kde je vedena matrika uchovává informace v tzv. Registru obyvatel (Rob), kde je uložena i informace o trvalém bydlišti každého občana. Záznam v Registru obyvatel má však jen registrační hodnotu, nijak neřeší to, kde se občan obvykle nejčastěji zdržuje. Je však zároveň jedinou informací o alespoň přibližném počtu obyvatel, který se na dané adrese (budově) obvykle zdržuje.



Obr. 4. Adresní body z různých zdrojů (MMOL, ČSÚ).

### ***Tématická data***

Tématická data obsahují záznamy jednotlivých adres (příp. majitelů objektů), ze kterých je svážen komunální odpad. U každého záznamu (adresy) je uveden počet nádob a typ nádob na komunální odpad. Dále je pak zaznamenána frekvence svozu a konkrétní den (dny) svozu v rámci týdne. Na základě tohoto seznamu jsou pak prováděny v určité dny svozy.

245	Olomouc, Edisonova 7	1	kont.	1x14	sudá středa
246	Olomouc - Holice, Hamerská 13,15	5	kont.	1x7	středa
247	Olomouc, Farského 31,33	1	kont.	1x7	středa
248	Olomouc, Střední novosadská 52-soc.dum	1	kont.	3x7	po, st, pá
249	Olomouc, Myslbekova 1,3,5 + Ceskobratrska 1	2	kont.	2x7	po, čt
250	Olomouc, Polská 25,27	1	kont.	2x7	po, čt
251	Olomouc, Trnkova 29	1	kont.	2x7	út, pá
252	Olomouc, Trnkova 31	1	kont.	2x7	út, pá
253	Olomouc, Trnkova 33	1	kont.	2x7	út, pá
254	Olomouc, Českobratrská 61,63	1	kont.	2x7	po, čt
255	Olomouc, Českobratrská 65	1	kont.	1x7	pondělí
256	Olomouc, Farského 27	0,5	kont.	1x7	středa
257	Olomouc, Werichova 17	2	kont.	2x7	út, pá
258	Olomouc, Velkomoravská 47 stan Misakova ul	0,5	kont.	1x7	pondělí

Obr. 5. Příklad neprostorových dat svozové trasy (seznamu adres) na příkladu Technických služeb města Olomouce, a.s.

## **Výhody a nevýhody datového modelu**

Výhodou tohoto modelu je snadná prostorová identifikace vzniku odpadů a podrobnost dat až na úroveň adresy. Koncept modelu lze dobře aplikovat na jakékoliv zájmové území, k němuž jsou dostupné datové sady (tab. 1). V prostředí GIS je možné věrohodně modelovat impedance pro pohyb po síti ve i formě času, včetně plánování délek zastávek.

Hlavní nevýhodou je nejistota skutečného množství odpadů na místě jeho vzniku (adrese). Tuto nejistotu však lze alespoň zčásti odstranit odhadem množství vznikajícího odpadu. Lze totiž předpokládat, že nádoba na komunální odpad je vždy maximálně naplněna anebo se lze skutečné množství vypočítat za pomoci kvóty produkce odpadů na osobu a den. Tato kvóta bývá definovaná např. formou veřejné vyhlášky úřadu samosprávy. Celkový výpočet množství vyprodukovaného odpadu pak lze pronásobit počtem trvale přihlášených obyvatel a zjistit tak počet nádob, které jsou zahrnuty do svozu komunálního odpadu, jejich úhrnným objemem a frekvencí svozu.

Další nevýhodou může být také značná časová náročnost na zpracování vstupních dat, které jsou uloženy v různých vstupních formátech (tab. 1) a jejichž konverze může být časově významným faktorem při aplikaci modelu v praxi. Na příkladu datových sad odpadového hospodářství města Olomouce jde o neúplnost adresy (chybějící číslo popisné, případně jen přibližný textový popis lokality), výskyt sdružených zápisů počtu několika vchodů jednoho domu (obr. 3) nebo nenalezení adresy ze seznamu svozové adresy v prostorové datové sadě adresních bodů z důvodu její relativní neaktuálnosti.

## **Procesní model**

Výsledky analýz poměrného zastoupení jednotlivých komodit v směsném komunálním odpadu (SKO) ve čtyřech urbanisticky odlišných částech olomoucké aglomerace (obr. 6) vykazují poměrně různorodé zastoupení jednotlivých komodit, které lze po následné separaci vhodněji využít než je tomu dosud. Pro následné efektivnější využití komunálního odpadu z různých částí města je vhodné, aby byl SKO z různých urbanisticky odlišných částí města svážen odděleně.

První krokem je vymezení města podle převládající zástavby, včetně odhadu počtu obyvatel:

### Sídlištní zástavba (Olomouc, městská část Neředín - ul. Jílová)

Sídlištní zástavba, skládající se především z bytových domů s centralizovaným zásobováním teplem, bez zahrádek, dvorků. Počet obyvatel v tomto typu zástavby je cca 50 tisíc. Sídlištní zástavba se nachází především v západní a jižní částech města.

### Venkovská zástavba (obec Radíkov, ul. Malinovského, Zedníkova a Vrchní)

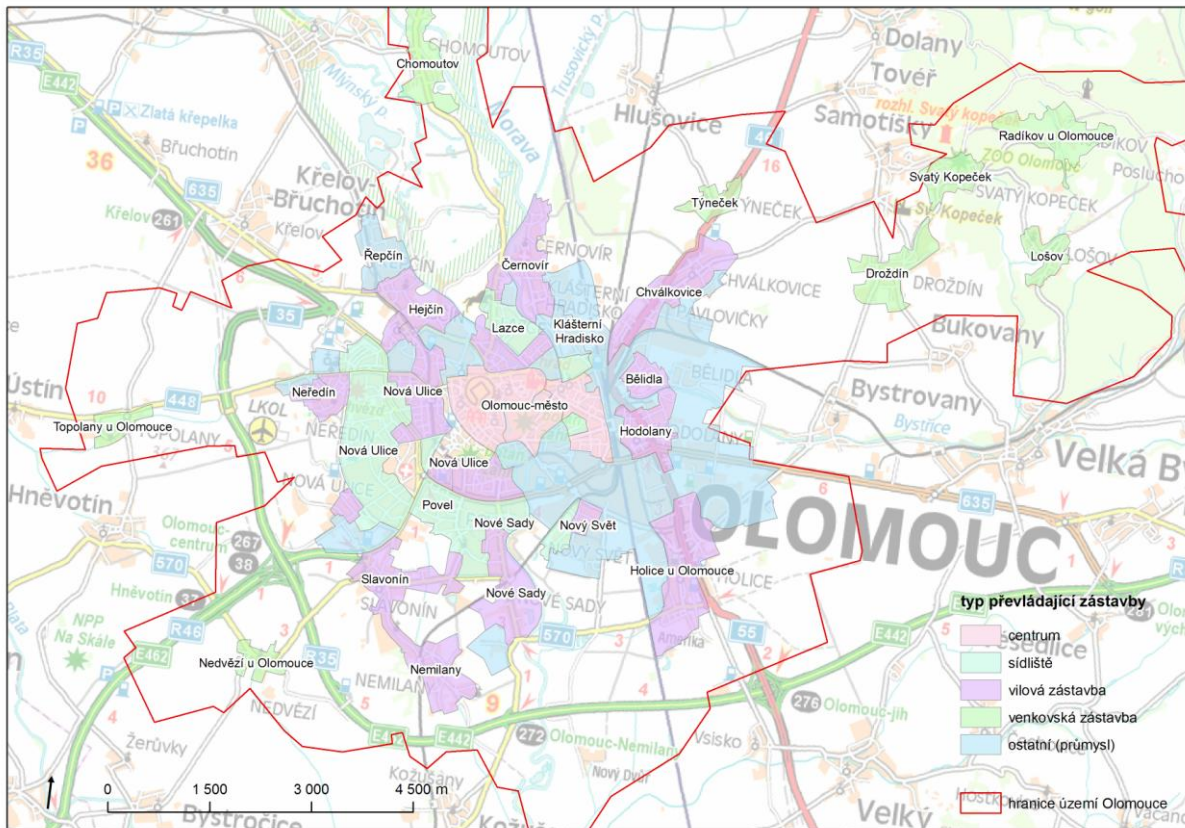
Venkovská zástavba rodinných domů s dosud existujícím podílem lokálního vytápění a tedy i s větší možností spalování odpadu v domovních topeništích na tuhá paliva. Prakticky u všech domů je možnost lokálního zahradního kompostování, často i zkrmování potenciálních odpadů domácím zvířectvem. Počet obyvatel okolo 5 tisíc izolovaně od samotné zástavby města.

### Stará zástavba v centru města (Olomouc, ul. Riegerova, Pavelčákova, Horní a Dolní Náměstí)

Historické centrum města s kombinací bytových domů s obchody, případně domů s kanceláři firem. Byty jsou opatřeny smíšeným ústředním, etážovým či lokálním vytápěním plynem či elektřinou. Vytápění tuhými palivy je výjimečné. Počet obyvatel je přibližně 15 tisíc, území je koncentrováno do středu města a směrem k nádraží.

### Vilová zástavba (Olomouc, městská část Neředín - ul. Na Vršku, Pod Letištěm, Klusalova, Keltská)

Nová vilová zástavba rodinných domů většinou s etážovým či lokálním vytápěním plynem nebo elektrinou. Vytápění tuhými palivy je výjimečné. V tomto typu zástavby je možnost zahradního kompostování. Počet obyvatel asi 30 tisíc v různých částech města.



Obr. 6. Rozdělení Olomouce podle převládajícího typu zástavby pro účely optimalizace svozu na základě struktury směsného komunálního odpadu.

Dalším krokem je vizualizace stávajícího stavu svozových tras a umístění svozových nádob. Na základě záznamů z GPS přístroje GPSMAP® 60Cx a konzultací s řidiči vozidel byly graficky zrekonstruovány stávající svozové trasy.

Posledním krokem je pak návrh optimální trasy pomocí GIS nástroje a srovnání původní a optimalizované trasy. Výpočet optimální trasy byl proveden v programu ArcGIS 9.3 s rozšířením (extenzí) Network Analyst pomocí Dijkstrova algoritmu pro nejkratší cestu s variantou pozměnit pořadí obsluhy nádob na odpad a s předdefinováním prvního a posledního adresního bodu (okružní jízda).

### **Případová studie Olomouce - Povel**

Pro případovou studii byla vybrána městská část města Olomouce – sídliště Povel. Toto sídliště je dobře vymezené od okolí města a tudíž zde lze věrohodně vzájemně posoudit výsledky dosažené výsledky. Pro část města Povel je charakteristická panelová zástavba, ve které žije více než 95 % z celkového počtu přibližně 6,5 tisíc obyvatel. Území se nachází v jižní části města Olomouce a svoz komunálního odpadu zde probíhá dvakrát týdně, vždy v úterý a pátek.



Obr. 8. Původní trasa (vlevo) a optimalizovaná trasa (vpravo).

Původní trasa (obr. 8 vlevo) se skládá z šesti nespojitých úseků, které dohromady mají délku 8949 metrů. Optimalizovaná trasa se skládá z jednoho úseku, který měří 7753 metrů. Rozdíl mezi délkami původní a optimalizovanou délkou tras je 1196 metrů. Optimalizovaná trasa představuje přibližně 87 % původní délky, tedy 13% úsporu délky původní trasy.

## Diskuze

Výsledek práce může být ovlivněn několika faktory. Zásadním faktorem při modelování je aktuálnost dat, a to jak topografických (průjezdnost komunikací, změna dopravního značení), tak i tématických dat (změna počtu/objemu nádob ve vztahu k počtu trvale přihlášených obyvatel). Neméně důležitá je i topologická přesnost, především u dat uliční sítě a adresních bodů, resp. jejich vzájemné vazby.

Při je třeba mít na zřeteli, že jde o modelové hodnoty, které je nutno ověřit v praxi. Do modelu nebyly zahrnuty všechny faktory, které ovlivňují délku trasy svozu komunálního odpadu. Mezi nejvýznamnější je potřeba zmínit např. couvání, řidičova znalost místního území nebo jiná neočekávaná událost – např. dopravní nehoda).

## Závěr

Cílem toho článku je vytvoření modelu pro svoz odpadů a jeho aplikace v případové studii odpadového hospodářství města Olomouce. Komentovány jsou výhody a nevýhody jednotlivých dat a jejich vzájemné vazby. Model byl ověřen na konkrétní případové studii svozu komunálního odpadu.



## Poděkování

Publikované výsledky byly získány díky dotaci Ministerstva životního prostředí v rámci projektu VaV ev. č. SP/2f1/166/08, za spolufinancování Přírodovědeckou fakultou UP v Olomouci a ve spolupráci s Magistrátem města Olomouce, Technickými službami města Olomouce a firmou EKOKOM, a. s.

## Použitá literatura

Apaydin, O, Gonullu MT: Route optimization for solid waste collection: Trabzon (Turkey) case study. Global NEST Journal, Vol 9, No 1, pp 6-11, 2007.

Ghose MK, Dikshit AK, Sharma SK: A GIS based transportation model for solid waste disposal - A case study on Asansol municipality. Waste Management. 2006; 26(11): 1287-93.

Hýblová, P.: Logistika: pro kombinovanou formu studia. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2006. 1. vydání. 59 s. ISBN: 80-7194-914-0.

Voženílek, V.: Geografické informační systémy I : pojetí, historie, základní komponenty. Olomouc : Vydavatelství Univerzity Palackého, 1998. 173 s. ISBN: 80-7067-802-X.

## Internetové zdroje

[1] Adresní místo | ČSÚ : [online]. [cit. 2010-11-15]. Dostupné z: <[http://www.czso.cz/csu/rso.nsf/i/adresni\\_misto](http://www.czso.cz/csu/rso.nsf/i/adresni_misto)>.

## Použité zkratky a termíny

ČSÚ – Český statistický úřad

GIS – geografický informační systém - počítačově založený informační systém pro získávání, ukládání, analýzu a vizualizaci dat, která mají prostorový vztah k povrchu Země

GPS – global positioning system - je polohový družicový pomocí něhož je možno určit polohu a přesný čas kdekoli na Zemi s přesností v jednotkách metrů

MMOL – Magistrát města Olomouce

pixel – nejmenší jednotka digitální rastrové grafiky

Registr obyvatel (Rob) – jeden ze základních registrů informačního systému veřejné správy, obsahuje záznamy o občanech ČR včetně demografických, sociálních a ekonomických údajů o obyvatelstvu

shapefile (shp) – nejběžnější vektorový datový formát pro ukládání prostorových dat (v GIS)