

Posouzení a návrh svozových plánů odpadu

Radovan Šomplák, Vlastimír Nevrlý, Veronika Smejkalová, Jiří Gregor

radovan.somplak@vutbr.cz

Souhrn

Příspěvek shrnuje výsledky pilotního výpočtu pro plánování svozové trasy. S ohledem na měnící se systémy sběru (např. pytlový sběr) a nárůst nově separovaných frakcí komunálního odpadu (viz bio-odpad) je třeba upravovat stávající svozové trasy. Díky technickému pokroku a vyššímu stupni monitoringu je možné zapojovat do rozhodovacího procesu sofistikované nástroje založené na matematických metodách. Cílem je sestavit svozový plán a zároveň minimalizovat náklady na svoz, který představuje podstatnou část celkových nákladů na zpracování komunálních odpadů.

Klíčová slova: sběr odpadu, plánování svozové trasy, komunální odpad

Příprava dat pro svoz komunálního odpadu – pilotní výpočet

V rámci testovacího výpočtu proběhlo porovnání vhodně vybrané svozové oblasti (s ohledem na dostupná data) mezi historickými daty a výsledky výpočtu. K výpočtu byl využit nástroj NERUDA Street [1], který je vyvíjen na Ústavu procesního inženýrství. Výpočet je členěn do několika postupných kroků.

- Výběr svozové oblasti na základě historických dat.
- Základní statistické vyhodnocení hlavních ukazatelů poskytnutých dat.
- Příprava dat pro implementaci do nástroje NERUDA Street.
- Výpočet a zpracování výsledků.

Výběr svozové oblasti

V prvním kroku je třeba sumarizovat dostupná data na jejímž základě bude následně možné vybrat vhodnou lokalitu pro pilotní výpočet. Datová sada obsahuje:

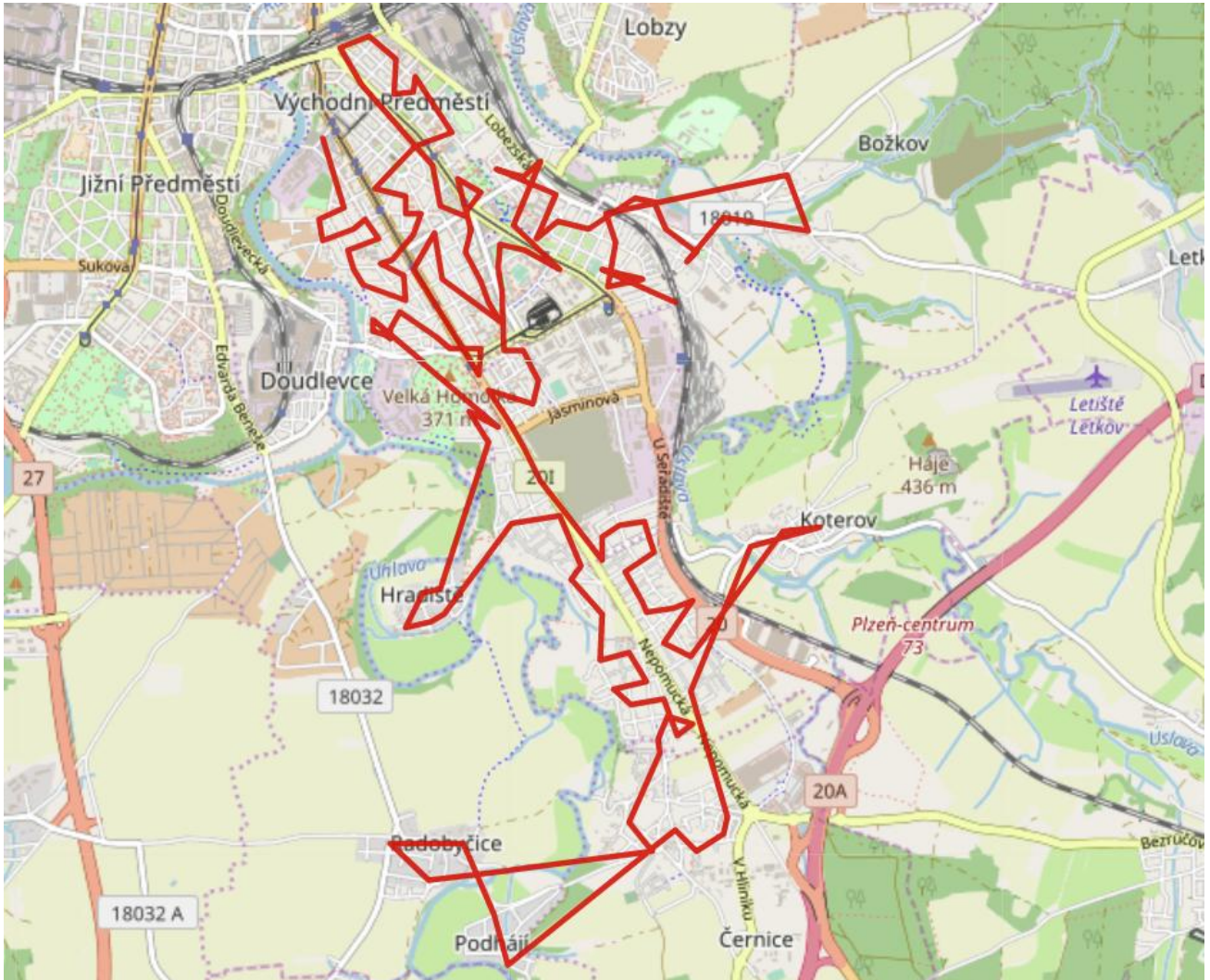
- polohu sběrných nádob – GPS souřadnice a adresní bod,
- čas výsypu,
- dobu výsypu sběrných,
- údaje o průměrné rychlosti vozidla,
- celkový nájezd kilometrů,
- vážící lístky.

Vybraná trasa na základě dostupných dat obsluhuje papírovou frakci komunálního odpadu. V této jízdě bylo svezeno 3 450 kg. Ve vybrané trase, stejně jako v ostatních případech, byly identifikovány u některých sběrných nádob chybějící data o času sběru (NULL). Hodnota „NULL“ byla subjektivně identifikována jako vynechání sběrné nádoby z původního svozového plánu. Svozový plán nekoresponduje s daty z monitoringu dle porovnání počtu sběrných nádob. Pro finální analýzu byla zvolena data z monitoringu (tzn. 149 obsluhovaných nádob). Dalším technickým úskalím jsou chybějící data o GPS souřadnicích a adrese sběrných nádob, celkem u 3 položek. Tato vlastnost částečně snižuje vypovídající schopnost výsledků, ovšem při zvoleném detailu vstupních dat je tento aspekt akceptovatelný. Tab. 1 shrnuje základní informace o vybrané svozové trase.

Tab. 1 Základní informace o vybrané svozové trase

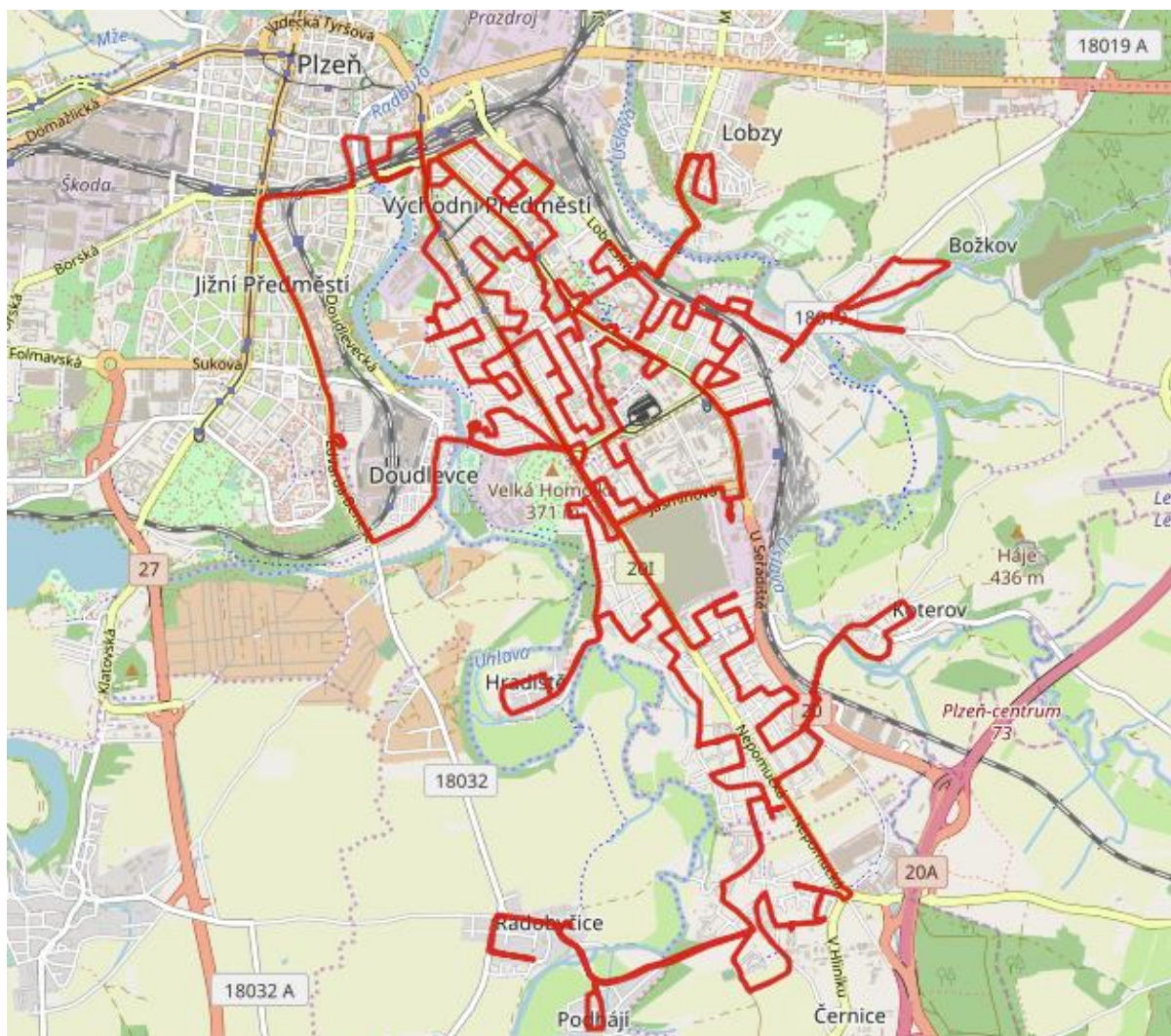
Vozidlo	#7	Hmotnost odpadu	3 450 kg
Počet sběrných nádob	146	Objem sb. nádob	94 380 L
Celkový nájezd	71,43 km		

Dalším nedostatkem vstupních dat je duplicita časových záznamů u časů sběru. Několik různých sběrných nádob má vždy stejný záznam ve sloupcích „Started“ a „Finished“ a tak nelze jednoznačně určit přesné pořadí sběru popelnic (to je zřejmě dáno více sběrnými nádobami na jednom sběrném místě). Zobrazení pořadí obsluhy sběrných nádob (GPS souřadnice) na základě záznamů o času počátku obsluhy je na obr. 1.



Obr. 1 Zobrazení pořadí obsluhy sběrných nádob svozové trasy 14602 bez zohlednění dopravní infrastruktury

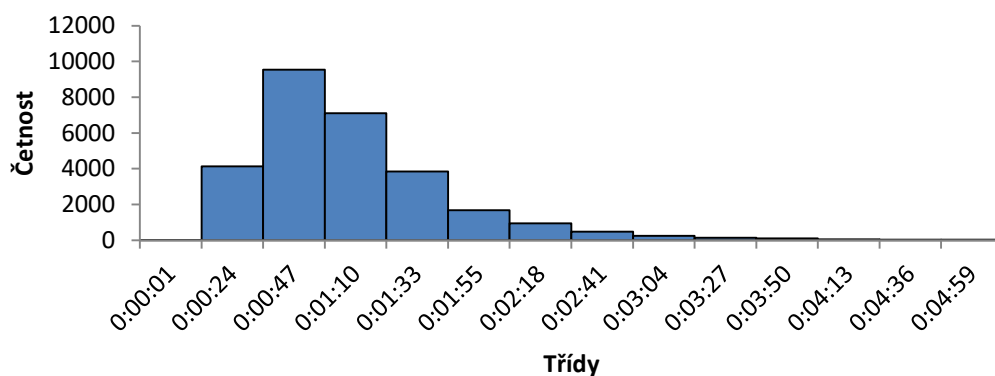
Na základě údajů poskytnutých v datové sadě (obsahující měsíční záznamy z vozidel) byla sestavena svozová trasa pomocí dvou kroků. Sběrné nádoby vybrané svozové trasy byly pomocí algoritmu navázány na segmenty infrastruktury (části ulice). Nalezením nejkratší spojnice všech segmentů vznikla svozová trasa. Celkový nájezd vozidla na této trase je dle záznamů 71,43 km. Svozová trasa je zobrazena v mapovém podkladu na obr. 2. Z důvodu chybějících informací o sběrných nádobách se může skutečná trasa od zobrazené drobně lišit (3 sběrné nádoby bez geografických údajů).



Obr. 2 Mapa vybrané svozové trasy po zohlednění silniční infrastruktury

Základní statistické vyhodnocení dat svozové trasy

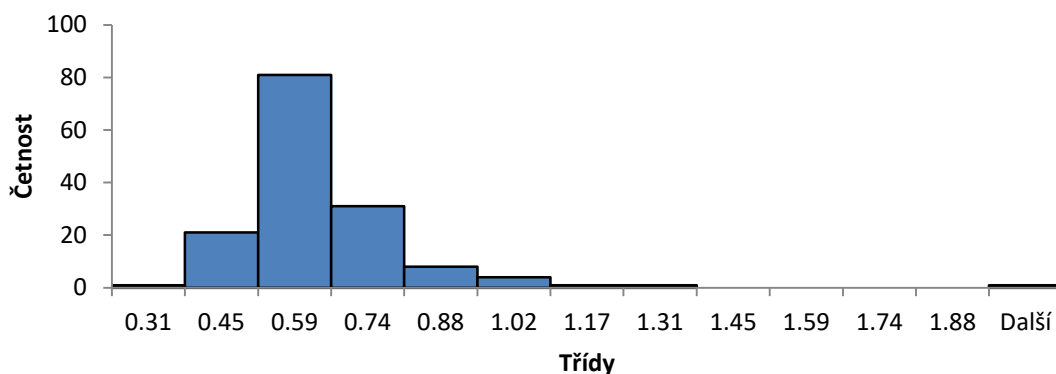
Pro základní odhad statistických charakteristik byl zvolen časový údaj o obsluze konkrétních sběrných nádob. Na základě zvolené trasy byly filtrovány všechny údaje o náročnosti časové obsluhy. Na obr. 3 je uveden histogram časové náročnosti obsluhy pro všechna sběrná místa na trase (kromě bodů s chybějícími daty). Tento údaj je však částečně zkreslen vyskytujícími se duplicitními časy u více nádob. Pravděpodobně se jedná o "hnízdo" s více sběrnými nádobami na jednom místě.



Obr. 3 Histogram časové náročnosti obsluhy sběrných míst na zvolené trase

Datové sady obsahují nějaké odlehlé hodnoty, které výrazně mění charakter histogramu. Pro další analýzu byly extrémní hodnoty pohybující se nad percentilem 95 odstraněny, což koresponduje s hodnotami nad 2 min a 18 s. Celkem bylo tímto způsobem odstraněno 1210 hodnot z 28 457 záznamů. Průměrný čas na nádobu ze zkoumané trasy je 51 s. Podrobnější analýza s ohledem na cíle výpočtu nebyla zatím zahrnuta.

Pro lepší vzhled byl vytvořen i histogram s variačním koeficientem (obr. 4), který ukazuje variabilitu v datech (viz obr. 3) vůči průměrné hodnotě. Z dat je vidět, že většina sběrných míst má směrodatnou odchylku pro časovou náročnost přibližně 60 % průměrného času sběru. To ukazuje značnou variabilitu pro tento parametr a zároveň na značně zešíkmené rozdělení pravděpodobností, kdy více hodnot ukazuje větší časové nároky na sběr.



Obr. 4 Histogram variačního koeficientu pro časové nároky na obsluhu sběrných míst (149) na zvolené trase

Informace o variabilitě dat je možné v detailnějších studiích ve výpočtu zohlednit. Popsání časových charakteristik pro transport vozidla by v této fázi prvotního výpočtu byla poměrně komplikovaná, a navíc by nepředstavovala žádný větší přínos, proto se autoři výpočtu rozhodly pro zjednodušení. Ve výpočtu budou uvažovány průměrné hodnoty času na obsluhu sběrné nádoby. Ty byly spočítány pouze na základě dat ze zvolené trasy pro sběrné nádoby o objemu 240 L (50 s) a 1100 L (76 s). Dále pak byla uvažována průměrná rychlost 15 km/hod., která vychází z rychlé analýzy historických dat na zvolené trase. Pro další opravné výpočty je možné tento aspekt rozpracovat do většího detailu.

Posledním vstupem potřebným pro výpočet v nástroji NERUDA Street je informace o produkci odpadu. Vycházelo se z celkové hmotnosti svezeneho odpadu ve vybrané trase. Tato hodnota byla rovnoměrně rozdělena mezi všechna sběrná místa na trase. Při opětovném výpočtu je možné zohlednit typ zástavby (počet obyvatel v blízkosti sběrného místa) aj. Po tomto přepočítání byly průměrné naplněnosti sběrných nádob identifikovány následovně: pro objem 240 L bylo uvažováno 8,5 kg a pro objem 1100 L bylo uvažováno 40 kg. Při optimalizaci svozové oblasti by bylo cílem maximalizovat naplněnost svezeneých sběrných nádob. Pro odhad produkce je možné využít prognostický nástroj Justine [2], který je dlouhodobě vyvíjen na ÚPI. Justine prognózuje produkci a složení odpadu, kde zahrnuje bilanční vazby mezi jednotlivými odpady a územní hierarchií.

NERUDA Street a zpracování výsledků

Výsledky nástroje NERUDA Street jsou promítnuty do veřejně dostupné databáze s infrastrukturou – OpenStreetMap (OSM). Dle uvažované oblasti byl sestaven graf popisující dopravní síť (graf ve smyslu matematického pojmu z Teorie grafů). Tato síť zohledňuje běžná dopravní značení, jako jsou zákaz vjezdu, zákaz odbočení apod. Jako začátek a konec svozové trasy byl v podkladu OSM zvolen bod s identifikačním označením – 703221127. Ten odpovídá odbočce z ulice E. Beneše. V rámci svozové trasy je dále uvažován návoz odpadu do recyklačního centra pro uvolnění kapacity vozidla.

Výpočet pro srovnání byl proveden s časovým horizontem jednoho dne, s časem trvání svozu maximálně 26 100 s (bez pauzy na oběd), s jedním dostupným vozidlem a jeho kapacitou umožňující

svoz sběrných nádob vybraných dle trasy k porovnání (tj. cca 3500 kg). Zobrazení trasy v mapovém podkladu je na obr. 5.

V další části byla zpracována data z logů svozu jednotlivých sběrných nádob. Podle pořadí obsluhy sběrných nádob byla skrz identifikované segmenty ulic promítnuta trasa do stejné infrastruktury jako v případě modelu. Takto vznikla posloupnost segmentů ulic, která byla pospojována pomocí Dijkstrova algoritmu (tzn. nejkratší vzdáleností od konce segmentu k začátku dalšího [3]). Promítnutí reálných dat do infrastruktury modelu slouží k porovnání výsledků ve stejné metrice. Celkové nájezdy modelu (nástroj NERUDA Street), reálné (poskytnutá data) a logy promítnuté do infrastruktury modelu (poskytnutá data v sestavené síti OSM) jsou v tab. 2.

Tab. 2 Porovnání reálné svozové trasy s vypočítanou trasou

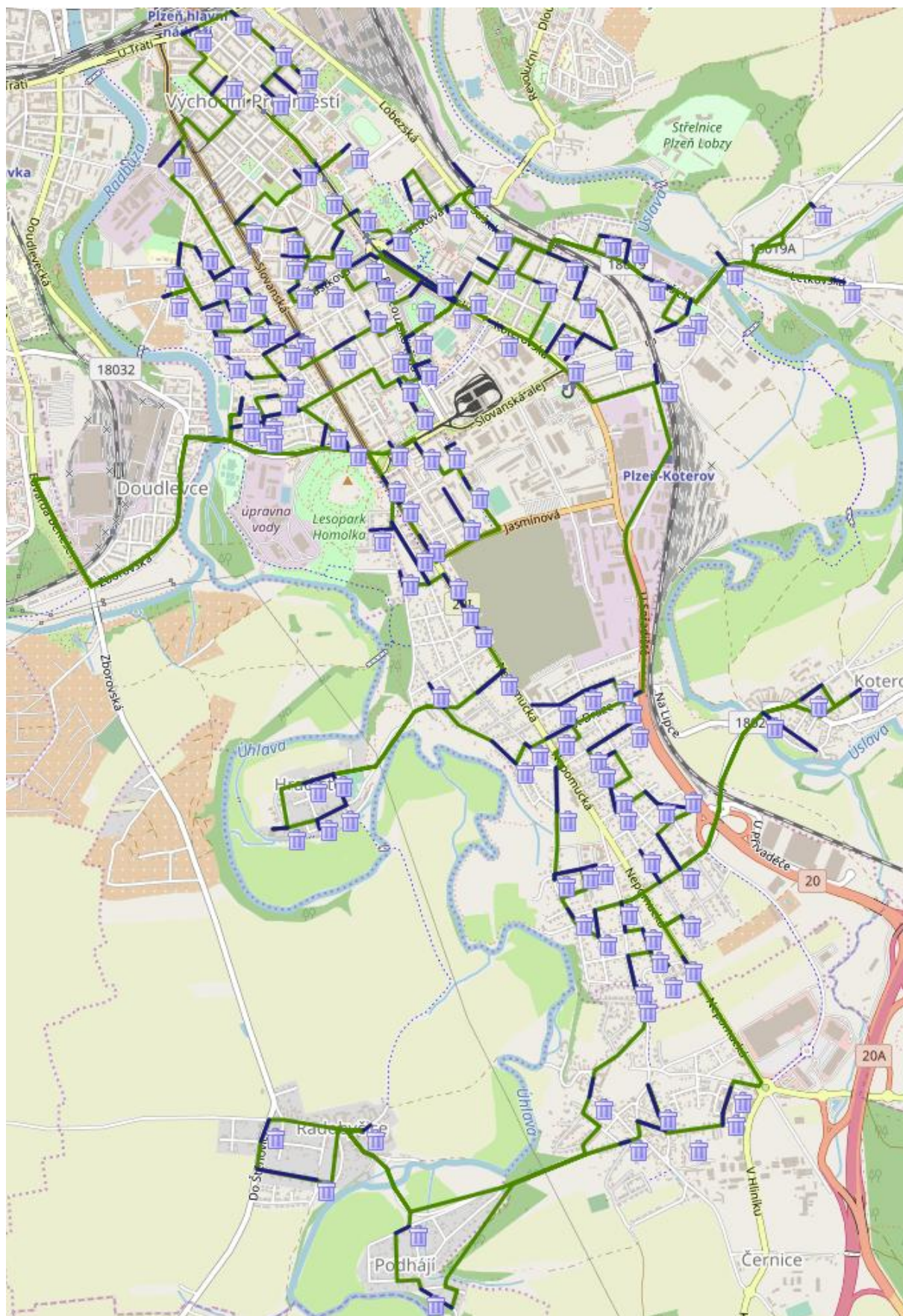
	<i>Celkový nájezd [km]</i>	<i>Celkový čas na trase [s]</i>
<i>Model</i>	63,7 (+3)	27 024 (+720)
<i>Realita – Logy</i>	71,4	29 700
<i>Logy promítnuté v infrastruktuře</i>	77,1 (+3)	30 125 (+720)

V další části byl identifikován vynucený zájezd do městské části Lobzy. Zpracovatelé tento rozdíl přisuzují 3 vynechaným kontejnerům, ke kterým nebyly poskytnuty GPS souřadnice. Při manuálním dopočtu této výchytky byla délka úseku změřena na 3,038 km. Údaje v závorkách v tab. 2 jsou hodnoty zájezdu do části Lobzy. Rozdíly v představených výsledcích mohou být způsobeny několika faktory. V infrastruktuře bylo zakázáno otáčení v křižovatce (pokud nebylo jiné možnosti) po svezení dané ulice pro všechny typy křižovatek. Model i promítnuté logy měly stejné podmínky pro výpočet i stejná zjednodušení. Z tohoto důvodu je rozdíl těchto dvou hodnot porovnatelný. Při porovnání reality s promítnutými logy je nárůst nájezdových kilometrů navýšen o cca 12 %. Tato odchylka může být způsobena nepřesností GPS souřadnic jednotlivých sběrných nádob a jejich následné přiřazení k segmentu nějaké ulice. Vynucení průjezdu identifikovaného segmentu má za následek prodloužení svozové trasy. Záznamy svozu jednotlivých sběrných nádob promítnuté do infrastruktury modelu jsou zobrazeny na obr. 6.

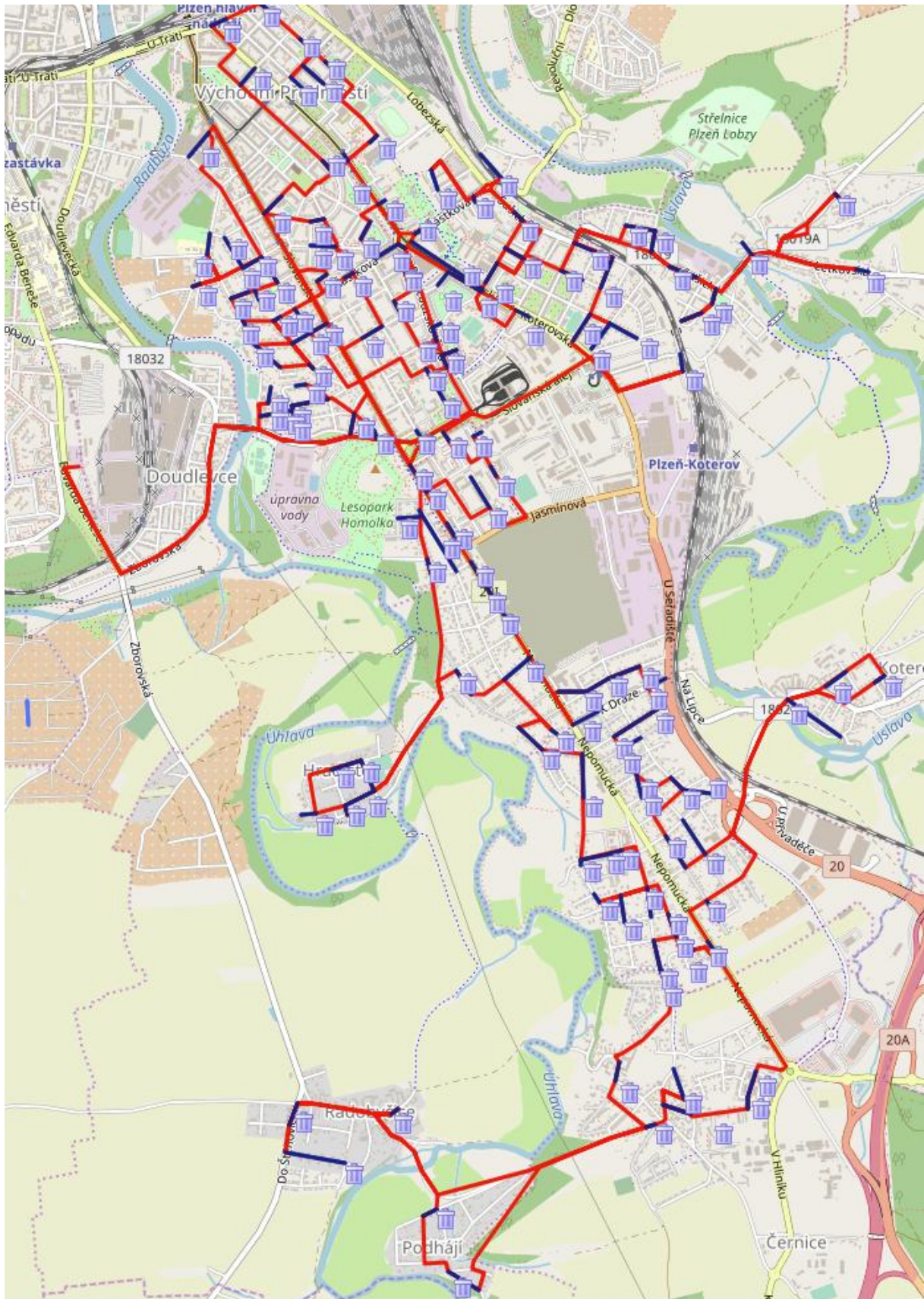
Nepřesnosti v modelu oproti realitě mohou být způsobeny i průjezdem po některých komunikacích, kde je průjezd KUKA vozem nemožný, popř. komplikovaný. Tato vlastnost se však dá zohlednit v dalších výpočtech při vymezení okrajových podmínek úlohy.

Jakožto výsledek porovnávané a namodelované trasy při svozu stejné množiny sběrných nádob lze uvést úsporu až 17 % v celkovém nájezdu kilometrů na trase při zohlednění logů promítnutých do infrastruktury pro výpočet (vůči reálným datům je to cca 6,5 %). Tento výpočet lze dále rozšířit na větší oblast města, a tak i pro více svozových vozidel, přičemž lze i zpřesnit výsledky při definování všech okrajových podmínek.

Možností pro zpřesnění výsledků z historických dat je např. odhadnutí variability a dalších statistických charakteristik pro obsluhu jednotlivých sběrných nádob, časové nároky na transport aj. Pro přesný výpočet však musí být nejprve odhaleny a rozpočítány časy obsluhy u duplicitních záznamů. Výsledek analýzy může být dalším vstupním parametrem do výpočtu, a to pro každou nádobu zvlášť. Podobného zpřesnění údajů lze dosáhnout i u časů průjezdu. Zároveň tyto údaje mohou sloužit pro popis neurčitostí a určení robustnosti nalezeného řešení.



Obr. 5 Mapa vypočítané svozové trasy

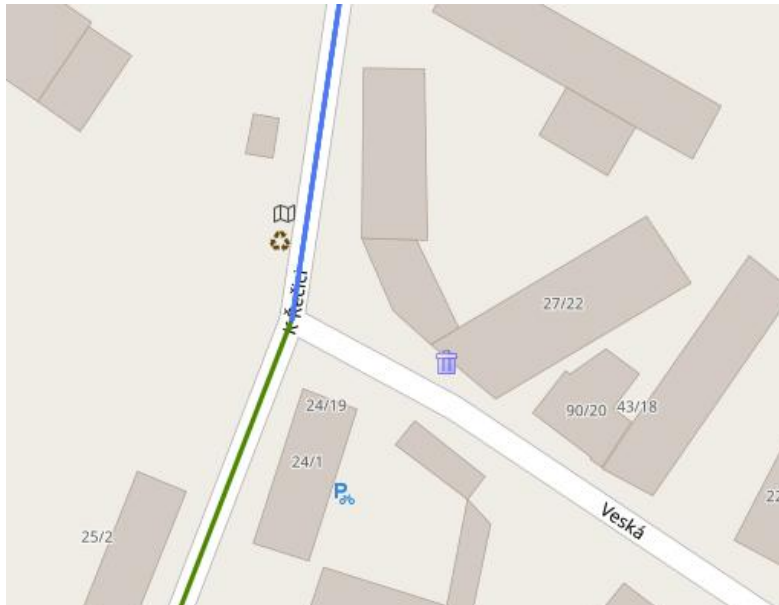


Obr. 6 Porovnání reálné trasy dle logů a přenesení do infrastruktury OSM

Ukázka nepřesnosti v datových sadách, infrastruktúře a modelu

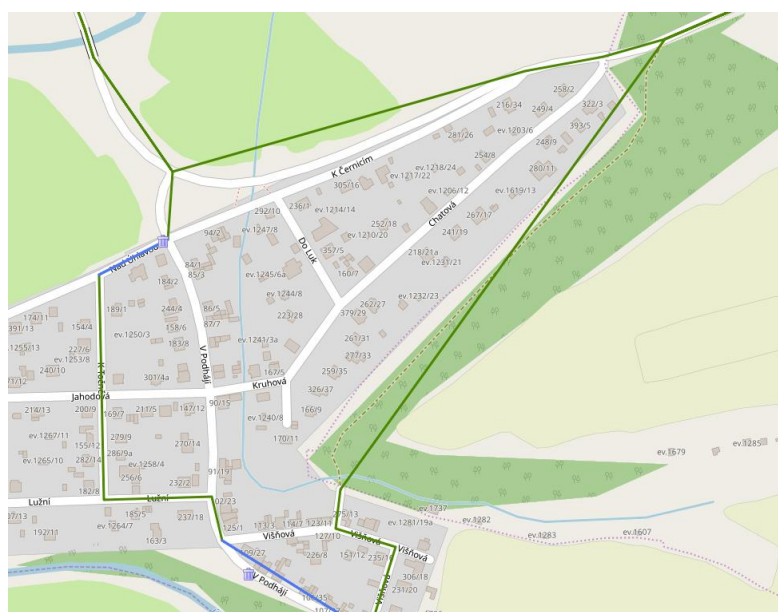
V průběhu pilotního výpočtu bylo identifikováno více chyb v datech, které negativně ovlivňují výsledky. Dá se předpokládat, že podobné chyby se budou vyskytovat i v případě jiných lokalit a jiných datových sad (např. podkladových map), proto autoři považují za přínosné některé nalezené chyby uvést.

- 1) Chybná GPS souřadnice sběrné nádoby. Adresní bod K Řečici 2 byl přiřazen na jinou ulici, konkrétně na ulici Veská, viz obr. 7.



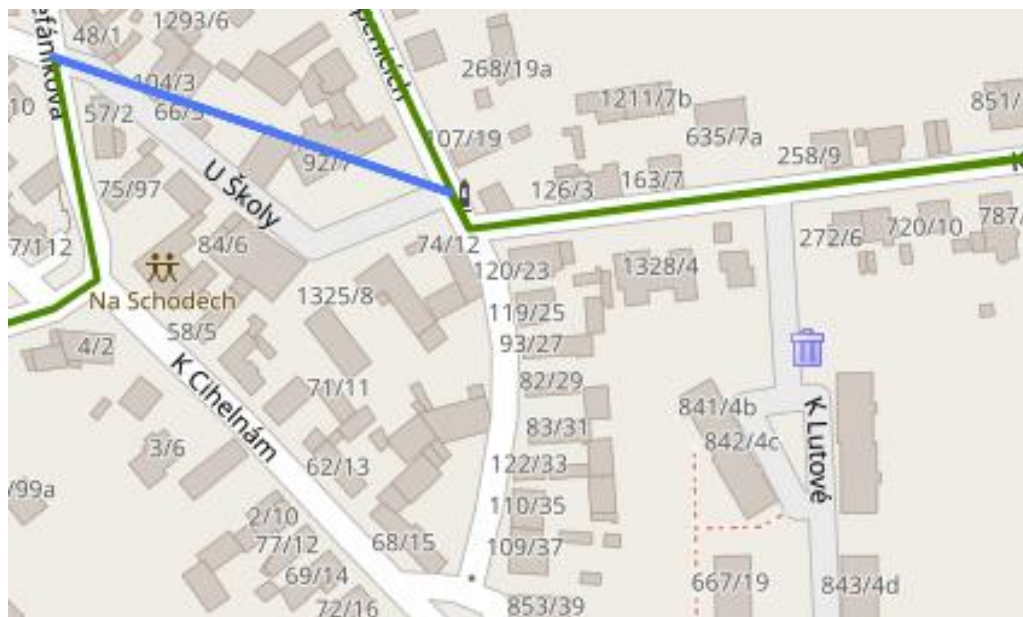
Obr. 7 Chybné spárování sběrné nádoby a svozové ulice

- 2) Vjezd do slepé ulice (v reálu silnici ukončuje řeka) a pokračování na další část infrastruktúry. Zkrácení cesty z ulice Štefánikova na ulici Višňová, viz obr. 8.



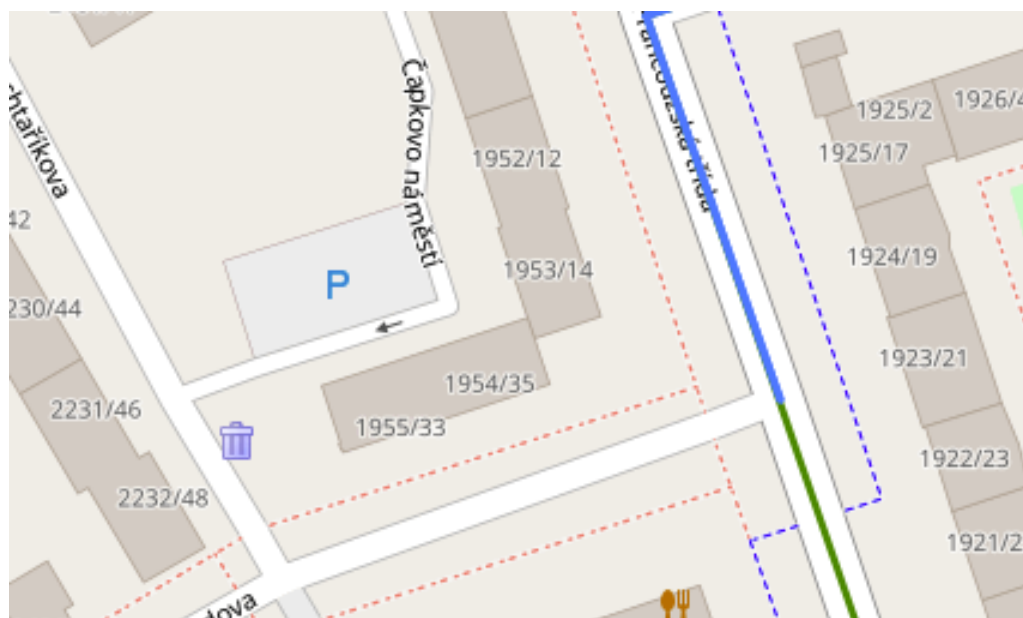
Obr. 8 Využití neexistující hrany

3) Chybná ulice nebo GPS, průjezd (modrá hrana) ulic U Školy směr k ulici K Lutové, viz obr. 9.



Obr. 9 Sběr nádoby po nespádové hraně

4) Kontejner za domem na adresním bodě Francouzská třída 12. Adresa domu odpovídá, ale ulice se jmenuje Čapkovo náměstí, GPS souřadnice je posunutá, viz obr. 10.



Obr. 10 Posun sběrné nádoby

Závěr a výhled dalšího vývoje nástroje NERUDA Street

Předložený článek uvádí pilotní výpočet nástroje NERUDA Street, který je určen pro návrh plánu a úpravu svozových tras. V úvodní kapitole je popsána příprava dat před vlastním výpočtem. Klíčovým faktorem bylo nalezení ekvivalentní metriky pro monitorovaná data a výsledky výpočtu. Druhá kapitola popisuje hlavní výsledky, tj. návrh svozové trasy a analýzu výsledků s vazbou na reálné data z monitoringu svozového vozu. Pro výpočet byla vybrána svozová trasa zaměřená na separovaný papír. Výsledkem byla úspora celkové nájezdové vzdálenosti o 6,5 % vzhledem k reálným datům. Pro reálné nasazení výstupů výpočtu je třeba hlubší příprava vstupních dat. V závěru byly diskutovány chyby v datech a modelu, které byly identifikovány během analýzy výsledků.

Představený nástroj – NERUDA Street – potvrdil svůj přínos při koncepčním plánování svozového plánu. Využitelnost v praxi je limitovaná přesností a rozsahem reálných dat. Značný přínos nástroje je očekáván v případě nutné změny svozových tras vlivem např. nové odpadové frakce (viz bio-odpad v ČR [1]), případně přechodu na jiný systém sběru (např. pytlový sběr, podzemní kontejnery).

Reference

- [1] Nevrlý V., Šomplák R., Gregor J. 2018. Prognóza produkce BRKO a nákladů na jeho sběr a svoz. Odpadové fórum, 19 (5), 30-31. ISSN: 1212-7779.
- [2] Pavlas M., Šomplák R., Smejkalová V., Nevrlý V., Zavíralová L., Kúdela J., Popela P. 2017. Spatially distributed production data for supply chain models - Forecasting with hazardous waste, Journal of Cleaner Production, 161, 1317-1328, DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.06.107.
- [3] Dijkstra E.W. 1959. A note on two problems in connexion with graphs, Numerische Mathematik, 1 (1), 269-271, DOI: 10.1007/BF01386390.