



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV INFORMAČNÍCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF INFORMATION SYSTEMS

MODEL SVOZU ODPADŮ

SEMESTRÁLNÍ PROJEKT
TERM PROJECT

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

FRANTIŠEK ŠUMŠAL

BRNO 2016

Obsah

1	Úvod	2
1.1	Řešitelé a zdroje informací	2
1.2	Ověřování validity modelu	2
2	Rozbor tématu a použitých metod/technologií	3
2.1	Použité postupy pro vytvoření modelu	3
2.2	Původ použitých metod a technologií	3
3	Koncepce modelu	4
3.1	Návrh konceptuálního modelu	4
3.2	Formy konceptuálního modelu	5
4	Architektura simulačního modelu	6
5	Podstata simulačních experimentů a jejich průběh	7
5.1	Postup experimentování	7
5.2	Provedené experimenty	7
5.2.1	Experiment 1	7
5.2.2	Experiment 2	8
5.2.3	Experiment 3	9
5.3	Závěry experimentů	9
6	Shrnutí simulačních experimentů a závěr	10
	Literatura	11

Kapitola 1

Úvod

Tento projekt je součástí předmětu Modelování a simulace. Jeho obsahem je návrh a implementace modelu [5, slajd 7] pro simulaci [5, slajd 8] svozu odpadu pro určitou městskou část. Na tomto modelu je poté provedena sada simulačních experimentů, které nám umožní detailně sledovat jeho chování a jednoduše upravovat jeho parametry pro získání optimálního rozložení a zajištění efektivity celé operace.

1.1 Řešitelé a zdroje informací

Autorem projektu je František Šumšal. K jeho vypracování bylo využito několik zdrojů k získání potřebných statistických a faktických dat. Pro samotné statistiky odpadu byl využit dokument od EKOLTES Hranice, a.s. [2] detailně popisující statistická data města Hranice z roku 2010, data z roku 2014 od Českého statistického úřadu [6] a průběžná data od Eurostatu [3]. Dalším užitečným materiálem byly typy nádob od Komwagu [4] a informace o designu popelářských vozů [1]. Na základě těchto informací byl následně vytvořen výsledný model.

1.2 Ověřování validity modelu

Validita navrhovaného modelu byla průběžně ověřována během vlastního návrhu a samotné implementace. Ověřování probíhalo jak pomocí srovnávání výsledků modelu se statistickými daty z výše zmíněných zdrojů, tak i pomocí odhadů a pozorování, zda-li je dané chování opravdu proveditelné a jestli vůbec dává smysl. Bohužel ne všechna data se dala získat ze statistik, ať už k nim nebyl přístup nebo vůbec nebyla uchována či zaznamenána. V těchto případech byly využity odhady, které se snaží blížit skutečnosti.

Kapitola 2

Rozbor tématu a použitých metod/technologií

Pro navrhnutí modelu a jeho následnou simulaci je nutné znát detaily o všech jeho činnostech a pochodech.

Vlastní svoz odpadu má několik částí. První z nich je svozové depo, které se stará jak o samotné popelářské vozy a jejich obsluhu (což zahrnuje náklady jak na údržbu a pohonné hmoty, tak i na mzdy zaměstnanců, které dané stroje obsluhují), tak i o svozové místo pro svezený odpad. Ze svozového místa odpad dále putuje do dalších destinací dle jeho typu. V současné době se odpad buď sváží na skládku, recykluje, spaluje nebo kompostuje. Každý z těchto případů má své výhody a nevýhody a samozřejmě své náklady.

Časově nejnáročnější částí je vlastní svoz odpadu. Odpad je svážen od různých typů objektů, od jejichž typu a velikosti se samozřejmě odvíjí množství vyprodukovaného odpadu. Součástí doby svozu je cesta z a do svozového depa, režie přesunu mezi jednotlivými budovami a samotné nakládání odpadu u jednotlivých budov. V návrhu je také zanesena rezie pro přesun mezi jednotlivými ulicemi, která je o něco vyšší než ta pro přesun mezi budovami.

Do samotného svozu je nutné zahrnout kapacitu každého popelářského vozu. Jelikož není neomezená, je nutné při dosažení této kapacity provést cestu do svozového depa a zpět, která výrazně zvyšuje dobu svozu.

2.1 Použité postupy pro vytvoření modelu

Celý model je implementován v C++. Tento jazyk byl vybrán převážně z důvodu podpory objektů a také kvůli podpoře simulační knihovny SIMLIB¹. Tato knihovna zjednodušuje implementaci modelu díky svým předdefinovaným objektům, které lze využít pro vytvoření činností a událostí pro daný systém.

2.2 Původ použitých metod a technologií

C++ <https://isocpp.org/>

SIMLIB <http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/.cs>

¹SIMLIB - <http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/.cs>

Kapitola 3

Koncepce modelu

Cílem projektu je simulovat [5, slajd 10] svoz odpadu a sledovat celkový průběh a náklady.

Základní nezbytností pro funkčnost celého systému je model sítě ulic. Jako základ byla použita mapa jedné menší obce, ze které bylo vypreparováno 21 ulic. Výsledná síť ulic byla poté převedena do lineární formy, což má za následek, že jsou jednotlivé ulice zpracovávány vždy ve stejném pořadí. Každá ulice byla podrobena analýze, jejíž výsledkem byl počet, typ a velikost budov, což jsou klíčové informace pro vytvoření korektní simulace produkce odpadu těchto budov. Produkce probíhá pravidelně každý týden a odvíjí se právě od počtu obyvatel v dané budově, jedná-li se o obytnou budovu, případně od velikosti budovy, jedná-li se o budovu průmyslovou.

Každý popelářský vůz má svou kapacitu a také svou trasu. Protože je mapa lineární, lze velmi jednoduše práci ekvivaletně dělit mezi jednotlivé vozy. Jedinou nutností je uchovávání aktuální pozice jednotlivých vozů, aby po vyložení nákladu bylo jasné, odkud mají pokračovat.

Jelikož svoz odpadu neprobíhá celých 24 hodin denně, je nutné vzít do úvahy také pracovní dobu. Tato informace nám rozdělí jednotlivé dny na jejich pracovní část (8 hodin) a nepracovní část (16 hodin). Výjimkou jsou samozřejmě sobota a neděle, kdy se nepracuje vůbec.

Pracovní dobou se také řídí svozové depo, které rozděljuje a zpracovává odpad jen během pracovních hodin. Rozdělení se řídí statistickými daty, které určují kolik odpadu se daným způsobem zlikviduje.

3.1 Návrh konceptuálního modelu

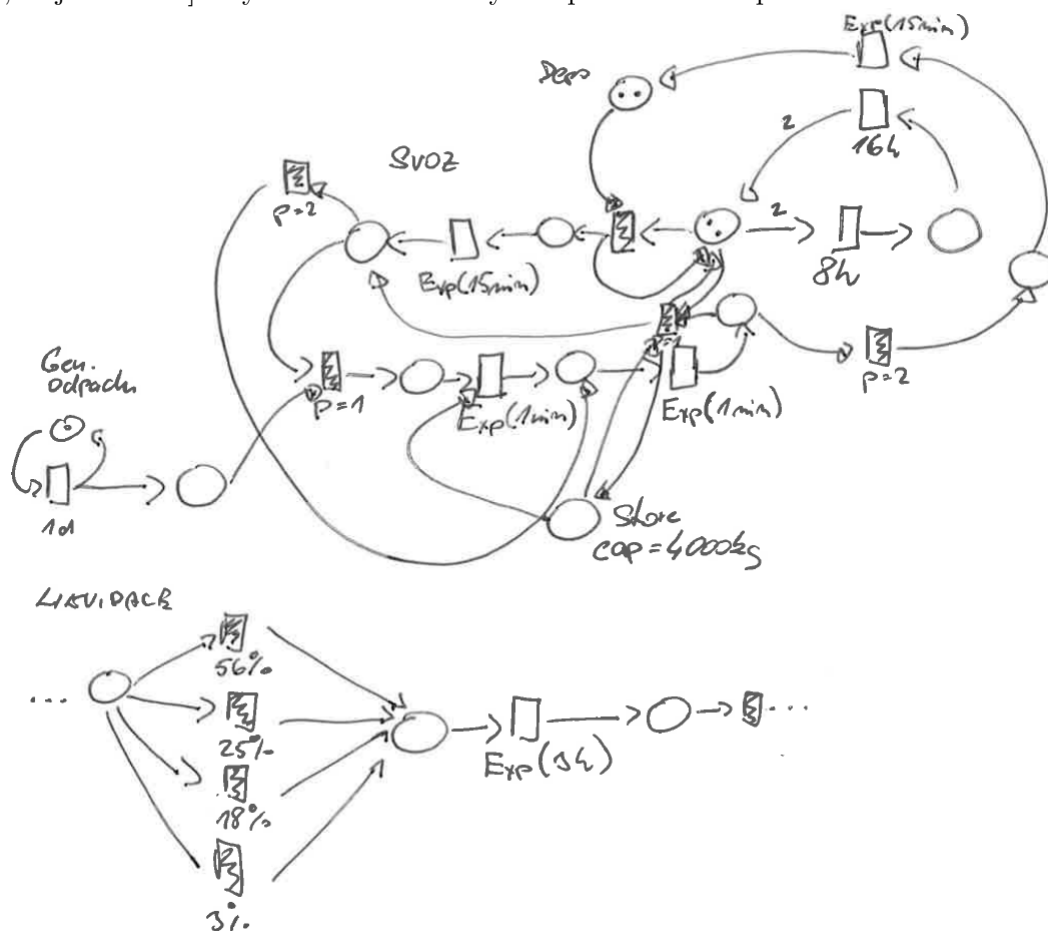
Každá budova má vlastní proces generování odpadu. Jeho množství se odvíjí od výše zmíněných údajů. Tento vygenerovaný odpad poté čeká na popelářský vůz. Je-li zrovna pracovní doba, depo vyšle do ulic předdefinovaný počet popelářských vozů. Jakmile se jeden z těchto vozů dostane před budovu, zkontroluje je si, zda-li přítomný odpad nepřesahuje jeho kapacitu. Pokud ano, vůz se vrací zpět do depa, kde vyloží veškerý odpad a vrací se zpět k danému domu. Po naložení odpadu vůz pokračuje dále. Pokud vůz dokončí svoz na své trase, končí tím pro něj aktivita až do konce aktuálního týdne. V případě ukončení pracovních hodin je vůz nucen navrátit se zpět do depa a příští den pokračuje tam, kde předchozí den skončil.

Na konci každého týdne jsou všechna data o aktuálně rozpracovaných trasách vyřetována. Pokud je v tuto dobu libovolná trasa nedokončená, je zvýšen čítač neúspěšných

svozů. Ten ve výsledných statistikách vypovídá hlavně o tom, že je třeba zvýšit počet vozů pro danou svozovou oblast.

3.2 Formy konceptuálního modelu

Abstraktní model celého procesu svozu odpadů byl popsán a znázorněn pomocí Petriho sítě [5, slajd 123-135] s využitím dat zmíněných v předchozích kapitolách.



Kapitola 4

Architektura simulačního modelu

V implementaci je využito několik objektů poskytovaných knihovnou SIMLIB. Kromě těchto objektů je využito několik objektů samotného C++ a pár vlastních nadefinovaných struktur pro udržování dat.

Budovy využívají objekt typu *Event* [5, slajd 169]. Tento objekt se stará o generování odpadu budovy v závislosti na poskytnutých datech - typ budovy a počet obyvatel. Objekt také simuluje prodlevu při nakládání odpadu, která se taktéž odvíjí od jeho typu a počtu obyvatel.

Jednotlivé dny řídí objekt *DaySchedule*, který je také typu *Event*. Tento objekt na začátku každého dne vygeneruje nový objekt *WorkingHours* typu *Process* [5, slajd 171], který má za cíl spravovat informaci o fázi dne - zda-li jsou pracovní či nepracovní hodiny. Tato informace je uchovávána pomocí objektu typu *Facility* [5, slajd 180]. Tímto objektem se poté řídí všechny procesy, které rozlišují pracovní hodiny. V případě přechodu z pracovní části dne do nepracovní, je pracovní linka (*Facility*) prioritně přiřazena objektu aktuálního dne, čímž odebere linku všem procesům na ní zavisející (proces zpracování odpadu a proces popelářského vozu) - tyto procesy tímto podnětem dokončí aktuálně rozpracovanou činnost a ukončí se.

Popelářské vozy má na starost objekt *Trucks* typu *Event*. Tento objekt v pracovních hodinách kontroluje, zda-li je nějaký volný vůz v depu, a pokud ano, vyšle jej do terénu. Jednotlivé vozy jsou modelovány jako procesy (objekty typu *Process*). Depo s volnými vozy je modelováno pomocí objektu typu *Store* [5, slajd 184]. Trasy jednotlivých vozů a informace o aktuální pozici uchovává struktura *truckData*.

Poslední funkce modelu - zpracovávání svezeneho odpadu - je obstarávána objektem *WasteProcessing* (typ *Event*). Ten při volné lince a v pracovních hodinách vytváří proces *ProcessWaste*, který simuluje třídění a zpracovávání odpadu. Statistiky o tomto procesu uchovává struktura *WasteStatistics*.

Kapitola 5

Podstata simulačních experimentů a jejich průběh

Před samotným experimentováním bylo nutné systém nastavit tak, aby co nejvíce odpovídal realitě - zajistit vhodnou produkci odpadu jednotlivých budov vzhledem k jejich typu a počtu obyvatel a samozřejmě zjistit náklady na svoz a likvidaci těchto odpadů. Po této inicializaci byly provedeny experimenty, které měli zjistit, jaký je vhodný počet vozů pro danou oblast s přihlédnutím na efektivitu a hlavně náklady.

5.1 Postup experimentování

Jednotlivé experimenty měly následující průběh:

- Konfigurace budov v jednotlivých ulicích
- Nastavení počtu svozových vozů a periody, po kterou bude daný systém zkoumán
- Spuštění simulace
- Zpracování výsledků

5.2 Provedené experimenty

5.2.1 Experiment 1

V tomto experimentu probíhal svoz odpadu pomocí jednoho svozového vozu. Zkoumaná perioda je nastavena na 53 týdnů. Jelikož se mi nepodařilo najít náklady pro jednotlivé vozy, jsou použity průměrné náklady na svoz a likvidaci pro jednoho člověka.

Per-truck statistics:

Truck #1

Waste collected:	1,884,543.75 kg
Time on road:	2,127.30 hours
Cost:	6,001,731.69 kc

TOTAL TIME: 2,127.30 hours

FAILED COLLECTIONS: 8

General statistics:

Total buildings: 361

Waste statistics:

Dumped: 1,055,343.88 kg

Recycled: 433,444.72 kg

Burned: 339,217.81 kg

Composted: 56,536.29 kg

TOTAL: 1,884,543.50 kg

Výsledky tohoto experimentu poukazují na vážný problém - v osmi týdnech z celkových 53 bylo vyprodukováno takové množství odpadu, že jej nebyl jeden vůz schopen zpracovat. Je tedy nutné zvýšit počet svozových vozů.

5.2.2 Experiment 2

Pro tento experiment byly použity hodnoty z předchozího experimentu, jen byl navýšen počet svozových vozů na tři.

Per-truck statistics:

Truck #1

Waste collected: 643,696.44 kg

Time on road: 773.29 hours

Cost: 2,049,988.65 kc

Truck #2

Waste collected: 773,793.88 kg

Time on road: 804.62 hours

Cost: 2,464,311.70 kc

Truck #3

Waste collected: 483,097.88 kg

Time on road: 559.44 hours

Cost: 1,538,528.26 kc

TOTAL TIME: 2,137.35 hours

FAILED COLLECTIONS: 0

General statistics:

Total buildings: 361

Waste statistics:

Dumped: 1,064,329.50 kg

Recycled: 437,135.34 kg

Burned: 342,105.78 kg

Composted: 57,017.66 kg

TOTAL: 1,900,587.75 kg

Výsledky tohoto experimentu vypadají lépe. Svoz byl proveden kompletně ve všech týdnech bez komplikací. Jen je třeba myslet na vyšší náklady - údržba jednotlivých vozů + obsluha pro každý vůz.

5.2.3 Experiment 3

Poslední experiment je snahou o snížení nákladů na svoz a zároveň zachování schopnosti zpracovat odpad pro celou oblast během jednoho týdne. Klíčovým prvkem bylo snížení svozových vozů na dva.

Per-truck statistics:

Truck #1

Waste collected:	1,020,031.94 kg
Time on road:	1,175.71 hours
Cost:	3,248,509.36 kc

Truck #2

Waste collected:	878,545.19 kg
Time on road:	1,002.22 hours
Cost:	2,797,914.61 kc

TOTAL TIME: 2,177.93 hours

FAILED COLLECTIONS: 0

General statistics:

Total buildings: 361

Waste statistics:

Dumped:	1,063,203.12 kg
Recycled:	436,672.81 kg
Burned:	341,743.94 kg
Composted:	56,957.29 kg
TOTAL:	1,898,577.50 kg

Výsledky posledního experimentu ukazují fakt, že na svoz celé oblasti stačí pouze dva vozy. Tím se sníží náklady na údržbu depa a i na platy zaměstnanců pro jejich obsluhu.

5.3 Závěry experimentů

Celkem bylo provedeno několik desítek experimentů. Experimentovalo se s hodnotami pro generování odpadu, s prodlevami pro přesun vozů a nakládání odpadu, s počtem vozů a jejich kapacitou a s dobou nutnou pro zpracování odpadu. Během těchto experimentů bylo odstraněno několik závažných chyb v modelu (při ukončení pracovní doby byla linka zabrána svozovým vozem a plánovač dne poté nesmyslně čekal, až tento vůz dokončí svou činnost - vyřešeno prioritou při zabírání linky, ...).

Nastavení hodnot pro experimenty je prováděno pomocí konstant v záhlaví souboru *main.cpp*.

Kapitola 6

Shrnutí simulačních experimentů a závěr

Výsledný model svozů odpadů je vzhledem na sesbíraná data dostatečně věrohodný i navzdory tomu, že nebylo možné získat veškerá potřebná data. Z experimentů vyplývá, že pro zkoumanou městskou část jsou dostatečná dvě svozová auta a to s přihlédnutím jak na dobu svozu, tak i náklady na tento svoz.

Literatura

- [1] Bc. Tomáš Běhal: *Design popelářského vozu*. Diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, Brno, 2015.
- [2] EKOLTES Hranice, a.s.: *Analýza odpadového hospodářství*. http://www.mesto-hranice.cz/cs/zivotni-prostredi/komunalni-a-jiny-odpad/plan-odpadoveho-hospodarstvi-mesta-hranic/_files/analyza-odpadoveho-hospodarstvi.doc, 2010, [Online; navštíveno 2.12.2016].
- [3] Eurostat: *Statistika odpadů*. http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics/cs, 2016, [Online; navštíveno 2.12.2016].
- [4] Komwag: *Typy nádob*. <http://www.komwag.cz/odpady/typy-nadob>, 2016, [Online; navštíveno 2.12.2016].
- [5] Petr Peringer: *Modelování a simulace*. <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>, 2016, [Online; navštíveno 2.12.2016].
- [6] ČSÚ: *Statistika: Produkce, využití a odstranění odpadu a produkce druhotných surovin v roce 2014*. <http://www.tretiruka.cz/news/statistika-csu-produkce-vyuziti-a-odstraneni-odpadu-a-produkce-druhotnych-surovin-v-roce-2014/>, 2015, [Online; navštíveno 2.12.2016].