

# FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



## Odvoz komunálneho odpadu v meste Rimavská Sobota

Peter Šuhaj (xsuhaj02)  
Adrián Tóth (xtotha01)

6. decembra 2017

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>2</b>
1.1	Zadanie . . . . .	2
1.2	Autori a zdroje . . . . .	2
1.3	Validita modelu . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Rozbor témy</b>	<b>2</b>
2.1	Použité postupy . . . . .	3
2.2	Použité technológie . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Koncepcia modelu</b>	<b>3</b>
3.1	Popis konceptuálneho modelu . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Architektúra simulačného modelu</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>Simulačné experimenty a ich priebeh</b>	<b>5</b>
5.1	Použitie simulátora . . . . .	5
5.2	Experiment 1 . . . . .	6
5.3	Experiment 2 . . . . .	6
5.4	Experiment 3 . . . . .	6
5.5	Záver simulačných experimentovaní . . . . .	6
<b>6</b>	<b>Záver</b>	<b>7</b>
<b>7</b>	<b>Prílohy</b>	<b>8</b>

# 1 Úvod

Táto práca sa zberá problematikou odvozu komunálneho odpadu v meste Rimavská Sobota v Slovenskej republike. Pre daný problém bol navrhnutý a implementovaný model - [5](str. č. 7), ktorý sa využíva na simulačné účely - [5](str. č. 8). Simulačné výsledky slúžia na získavanie poznatkov o odvoze komunálneho odpadu, ktoré budú skúmané a popísané v ďalších kapitolách.

Cieľom práce je poukázať na fakty ktoré môžu odvoz komunálneho odpadu ovplyvniť z ekonomického hľadiska. Zmysel tejto práce je nájsť čo najekonomickejšie riešenie na náklady odvozu odpadu v meste Rimavská Sobota.

## 1.1 Zadanie

Zadanie tejto práce spadalo do časti *služby, infrastruktúra a energetika*[6] pod číslom 5, ktoré nám bolo náhodne pridelené. Vybrali sme si problematiku *odpadové hospodárstvo* z oblasti *infraštruktúry*.

## 1.2 Autori a zdroje

Autormi tohto projektu sú Peter Šuhaj (xsuhaj02) a Adrián Tóth (xtotha01) - študenti 3. ročníka bakalárskeho štúdia na *Fakulte informačních technologií - Vysokého učení technického v Brně*[2].

Zdroje informácií potrebné k vypracovaniu projektu boli získané od pána Attilu Šimka ktorý je vedúci odboru zodpovedného pre odvoz komunálneho odpadu pre mesto Rimavská Sobota nachádzajúce sa na území Slovenskej Republiky. Pán A. Šimko nám poskytol konzultáciu a odborné fakty na základe ktorých sme mohli navrhnúť náš model.

## 1.3 Validita modelu

Validitu modelu - [5](str. č. 37), sa nám podarilo overiť na základe konfrontácie odborných faktov a faktov získaných zo simulačných výsledkov pomocou mnohých experimentov. Pomocou tejto konfrontácie sme mohli klasifikovať náš model za validný t.j. model adekvátny modelovanému systému.

# 2 Rozbor témy

Potrebné informácie a fakty potrebné k implementácii boli získané na osobnom stretnutí s pánom Attilom Šimkom v organizácii *Technické služby mesta Rimavská Sobota*[4]. Na osobnom stretnutí nám boli poskytnuté štatistické informácie o komunálnom odpade, informácie o vozidlách potrebných na odvoz komunálneho odpadu a o skládke na komunálny odpad.

Štatistické informácie o komunálnom odpade poskytnuté pánom A. Šimkom boli nasledovné: typ a počet smetných košov na uliciach, priemerná váha celkového odpadu v tonách vyzbieraného za jeden deň, doba práce za jeden deň. Priemerný čas potrebný ku spracovaniu jedného smetného koša bol získaný osobným meraním v teréne.

Stroje odvážajúce komunálny odpad sú značky Mercedes-Benz typu Econic s nosnosťou 10,4 ton. Priemerná spotreba jedného vozidla je 70 litrov nafty na 100 kilometrov. Rýchlosť vozidla počas zberu smetí, t.j. pohyb vozidla medzi smetnými kôšmi na ulici a pri presune medzi jednotlivými ulicami, je v priemere 20km/h. Rýchlosť počas odvozu na skládku je priemerne 50km/h. Všetky informácie o vozidlách, ktoré odvážajú komunálny odpad, nám boli poskytnuté na osobnom stretnutí od pána A. Šimka, keďže sa jedná o vozidlá ktoré boli zakúpené organizáciou v Nemecku ako ojazdené vozidlá.

Zber komunálneho odpadu v meste Rimavská Sobota sa delí na zóny[3], kde sa za jeden deň vyzbierajú 2 zóny pričom do zón sa vyšlú dve autá. Jedno auto má na starosti vyzbierať komunálny odpad jednej zóny za jeden deň ktorá mu je pridelená.

Cena paliva k behu vozidla je 1.12€ za jeden liter nafty[1] v Slovenskej republike. Vzdialenosť skládky od centra mesta je 27 kilometrov, presná vzdialenosť závisí od polohy auta v meste čo sa pohybuje v intervale 25-29km. Dĺžky ulíc boli zistené pomocou webovej stránky Google Maps.

## 2.1 Použité postupy

Jazyk C++ sme zvolili z dôvodu že existuje vytvorená knižnica na simulovanie pre tento jazyk, ďalej je prenositeľný, rýchly, imperatívny a objektovo orientovaný. Knižnica SIMLIB bola zvolená pretože ponúka prostriedky na implementáciu simulačného modelu - [5](str. č. 44), a tým zjednodušuje jeho implementáciu.

## 2.2 Použité technológie

K implementácii boli využité nasledovné technológie:

- C++ [www.cplusplus.com](http://www.cplusplus.com)
- g++ [www.cprogramming.com/g++.html](http://www.cprogramming.com/g++.html)
- SIMLIB [www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB](http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB)
- Ubuntu 16.04.3 LTS [releases.ubuntu.com/16.04](http://releases.ubuntu.com/16.04)

Rozhodli sme sa pre výber hore uvedených technológií pretože sú voľne dostupné a súčasne je možné pomocou nich implementovať simulačný model. Jazyk C++ a prekladač g++ sme sa rozhodli použiť kvôli knižnici SIMLIB, ktorá je vytvorená v jazyku C++.

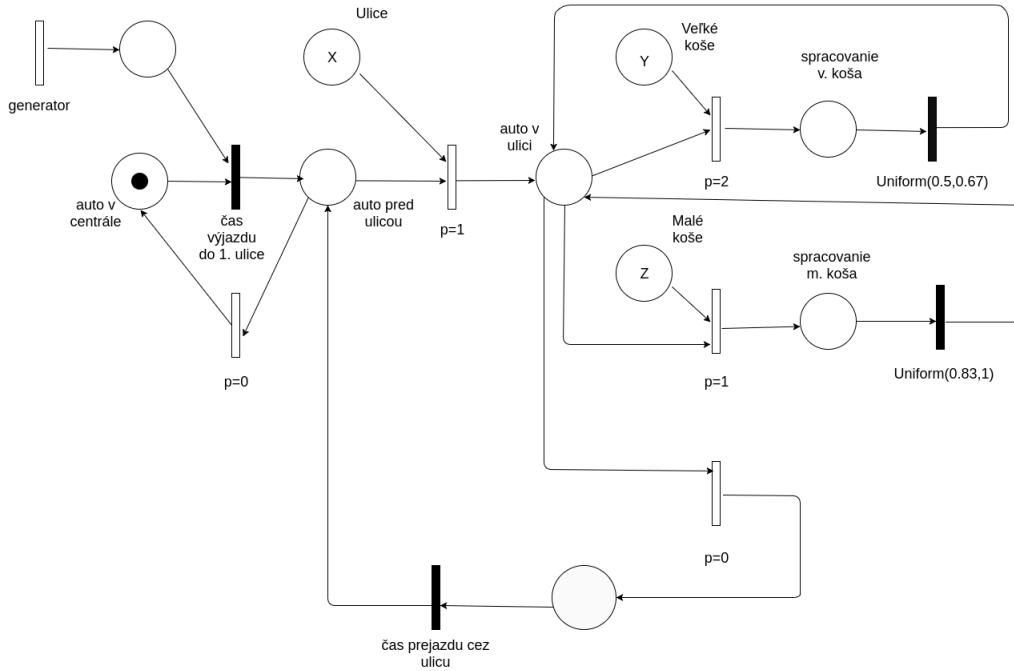
## 3 Konceptia modelu

Táto práca sa zaoberá s odvozom komunálneho odpadu, t.j. zozbieranie komunálneho odpadu a jeho vývoz na skládku v meste Rimavská Sobota za jeden deň v týždni(pondelok). Podľa poskytnutých informácií od konzultanta počet smetí, dĺžka zberu, počet najazdených kilometrov v jednotlivých dňoch je približne rovnaká, rozdieli sú zanedbané takže výsledok môžeme ???zobraziťTODO??? aj na ostatné dni v týždni.

V rámci tohto modelu vychádzame zo zdrojov spomenutých v kapitole 2 *Rozbor témy* ktoré sa vzťahujú na náklady zberu a vývozu komunálneho odpadu. Bolo zanedbané zrýchlenie vozidla z dôvodu používania priemernej rýchlosti vozidla. Náklady zberu a vývozu odpadu nesúvisia s nákladmi na správu vozidiel, správa a prevádzka skládky, takže tieto náklady sú tiež zanedbané. Jediná súvislosť so skládkou je jej vzdialenosť, ktorá má výrazný vplyv na náklady potrebné na odvoz odpadu. Keďže auto sa pri naplnení jeho kapacity môže nachádzať v rozličnej vzdialenosti od skládky, takže táto vzdialenosť je určená funkciou  $Uniform(50,58)$ .

Vozidlo má vopred stanovené ulice ktoré má vyzbierať za daný deň. Doba presunu vozidla počas zberu odpadu medzi ulicami je zanedbaná, keďže ulice sú medzi sebou prepojené. Doba prechodu ulicou je vypočítaná na základe dĺžky ulice a priemernej rýchlosti auta. Čas potrebný na spracovanie malého koša je určený funkciou  $Uniform(0.50,0.67)$  a pre veľký koš  $Uniform(0.83,1)$ .

Do nákladov na odvoz odpadu sú taktiež zahrnuté náklady na zamestnancov. Všetci zamestnanci majú hrubú hodinovú mzdu 2.50€. Ak zamestnanec začal ďalšiu pracovnú hodinu tak dostáva mzdu aj za tú hodinu aj keď ju nedokončil.



Obr. 1: Zjednodušená petriho sieť

### 3.1 Popis konceptuálneho modelu

Pre popis modelu sme použili deklaratívny model typu petriho siete - [5](str. č. 49).

Petriho sieť na obrázku ...TODOhref zobrazuje proces zberu odpadu jedného auta, tento proces je rovnaký pre všetky smetiarské autá, ich počet je vytvorený na základe typu simulácie. Auto na začiatku sa dostane na prvú ulicu kde začína prácu. Čas potrebný prechodu závisí na priemernej rýchlosti auta kde sa použilo uniformné rozdelenie  $\pm 5\text{km/h}$  od rýchlosti, kvôli nožnej spomalení v doprave v meste. Tiež súvisí na vzdialenosti prvej ulice, ktorá bola zistená pre jednotlivé autá pomocou Google Maps. Auto po vstupe do ulice postupne spracuje veľké kontajnery(kapacita 1100l) a malé smetné koše(kapacita 120l). Doba spracovania veľkého koša podľa meraní v terení sa pohybuje v intervale 50-60 sekúnd, doba pre spracovanie malého koša v intervale 30-40 sekúnd. Ak vyzbiera všetky tak po čase potrebného k presunu ceý danú ulicu ktorá je určená na základe dĺžky ulice a priemernej rýchlosti smetiarskeho auta pokračuje sa na spracovanie ďalej ulice kým nejaká nespracovaná existuje. Poradie spracovania a Rozšírená petriho sieť je vidieť v prílohe ...TODO... . Je zobrazená kapacita ktorá sa znižuje pri spracovaní smetného koša(podľa odobrného konzultanta naplnenie malého koša sa pohybuje v rozmedzí 10-40kg, naplnenie veľkého v rozmedzí 100-150kg). Ak počas spracovania odpadu v ulici alebo pred vstupom do nasledujúcej ulice kapacita auta je naplnená tak sa odpad odvezie na skládku a spracovanie pokračuje ďalej. Odvoz sa taktiež vykoná po spracovaní všetkých ulíc a auto sa vráti do centráli, tým práca auta končí.

## 4 Architektúra simulačného modelu

Na implementáciu simulačného modelu bol využitý modulárny prístup z dôvodu prehľadnosti s kombináciou objektového paradigmatu kvôli triedam použitých z knižnice SIMLIB.

Priečinok *data* obsahuje všetky potrebné dáta pre simuláciu ktorý obsahuje dva podpriechinky rozdeľujúce dáta podľa počtu vozidiel pre 2 a 3 vozidlá. Dáta sú uložené v súboroch typu *tsv* (anglicky *tab-separated values*), kde sú jednotlivé dáta zapísané v tvare, kde jeden riadok odpovedá jednej ulici. Uložené dáta v riadku označujúceho jednu ulicu sú: počet malých košov, počet veľkých košov, dĺžka

ulice v kilometroch a názov ulice. Jeden súbor obsahuje všetky tie ulice, ktoré sú priradené jednému zodpovednému vozidlu ktoré má tieto ulice vyzbierať.

Na načítanie informácií zo súborov sa stará modul *file\_data* ktorý predá informácie vo forme vektora štruktúry typu *street*. Program využíva globálne premenné ktoré nesú informácie o samotnom behu simulačného modelu, a sú využívané na počítanie skúmaných metrík ako napríklad: celkový čas, váha celkovo nazbieraných smetí v kilogramoch, celková dĺžka absolvovanej cesty, atď.

Použité prvky z knižnice SIMLIB:

- Trieda *Generator*

Je podtrieda triedy *Event* z knižnice SIMLIB. Na začiatku simulácie sa vytvorí potrebný počet smetiarskych vozidiel podľa typu experimentu. Vozidlá sú naplánované v čase simulácie *Time* t.j. modelový čas - [5](str. č. 166), čo znamená, že sa naraz vyšlú všetky autá zo stanice smerom k im priradeným uliciam. **DOBA stredisko-1. ulica!**

- Trieda *Car*

Je podtrieda triedy *Process* z knižnice SIMLIB. Obsahuje metódu *Behaviour()* kde je implementovaný celý proces zberu komunálneho odpadu pre jednotlivé vozidlo. Táto časť je najrozsiahlejšia v rámci simulácie. Vozidlo t.j. smetiarske auto, začína zbierať smeti po určitej dobe na začiatku potrebnej k presunu na prvú nemu priradenú ulicu.

Po presune na prvú ulicu uloženú vo vektore štruktúry typu *street*, auto postupuje cez ulicu a vyprázdňuje smetné koše. Po spracovaní ulice smetiarskym autom sa ulica odstráni z vektora ulíc a spracovávanie pokračuje s ďalšími ulicami vo vektore až kým ich počet sa nerovná nule. Ulica obsahuje počet veľkých a malých smetných košov na komunálny odpad ktorých spracovanie zaberie určitý čas. Pri vyprázdnení jedného smetného koša sa voľná kapacita smetiarskeho auta znižuje, kvôli čomu sa kontroluje dostupné voľné miesto na odpad v aute. Ak je kapacita nedostávajúca vozidlo preruší spracovávanie ulice a odváža svoj aktuálny obsah smetí na skládku ktorá je vzdialená v určitej vzdialenosti. Vzdialenosť auta je daná pozíciou auta v meste a vzdialenosťou skládky od mesta. Smetiarske auto pri odvoze odpadu na skládku sa vracia na to isté miesto na ulici z ktorého vyrazilo. Takto pokračuje spracovávanie ulíc t.j. vyprázdnenie všetkých košov na ulici, a keď sa všetky ulice spracujú, tak sa skontroluje či auto obsahuje odpad ktorý ešte treba odviezť pred tým ako sa vráti do strediska z ktoré začalo.

## 5 Simulačné experimenty a ich priebeh

Cieľom experimentov je zistiť vplyv počtu smetiarskych vozidiel a vzdialenosť skládky na časové a finančné aspekty a tým zefektívniť zber a vývoz a znížiť výdavky mesta. Jedná sa o informácie ako doba potrebná na vývoz odpadu v danom dni, spotreba smetiarskych áut, financie na pohonné hmoty a financovanie zamestnancov. Experimenty boli realizované pomocou simulátoru. Hodnoty v tabuľkách 2, 3 a 4 sú priemerné výsledky piatich experimentov.

### 5.1 Použitie simulátora

**make** - preloženie programu

**make clean** - odstránenie súborov vytvorených príkazom *make*

**make run** - spustenie programu, pred spustením je potreba preložiť program pomocou príkazu *make*

Pri spustení simulácie pomocou *make run* je na štandardný výstup vypísaný výstup troch experimentov ktoré sú oddelené.

## 5.2 Experiment 1

Experiment č. 1 simuluje aktuálny zber komunálneho odpadu na základe získaných informácií ktoré sú popísané v kapitole č. 2. V tomto experimente sú ulice rozdelené do dvoch častí pre dve smetiarske autá. Vzdialenosť skládky je na jej skutočnej vzdialenosti t.j. vo vzdialenosti 27 kilometrov od mesta. Všetky parametre sú podľa získaných

Exp. 1	Množstvo smeti [kg]	Čas [h]	Trasa [km]	Spotreba [l]	Náklady na palivo [€]	Náklady na posádku [€]
Auto 1	11262.86	5.32	118.75	83.13	93.1	45
Auto 2	13210.98	4.44	112.03	78.42	87.83	37.5
Σ	24473.84	9.76	230.78	161.55	180.93	82.5

Celkové náklady: 263.43

Obr. 2: Experiment 1

## 5.3 Experiment 2

Experiment č. 2 simuluje zber komunálneho odpadu tromi autami a vzdialenosť skládky je rovnaká ako v predošlom experimente. V tomto experimente sú ulice rozdelené rovnomerne pre tri smetiarske autá.

Exp. 2	Množstvo smeti [kg]	Čas [h]	Trasa [km]	Spotreba [l]	Náklady na palivo [€]	Náklady na posádku [€]
Auto 1	9163.54	3.88	64.7	45.29	50.72	31.5
Auto 2	8388.71	2.4	57.06	39.95	44.73	22.5
Auto 3	7182.95	2.4	57.31	40.12	44.94	22.5
Σ	24735.2	8.68		125.36	140.39	76.5

Celkové náklady: 216.89

Obr. 3: Experiment 2

Po pridaní ďalšieho vozidla rovnakého typu znížili celkové náklady keďže smetiarské autá sa nenaplnili a odvoz vykonali iba raz na konci zberu. Výsledkom sa doba spracovania znížila čo má vplyv na výdavky na zamestnancov, tiež sa znížil počet kilometrov a s tým spotreba pohonných hmôt.

## 5.4 Experiment 3

Experiment č. 3 berie v úvahu bližšiu vzdialenosť skládky a dve smetiarske autá.

Exp. 3	Množstvo smeti [kg]	Čas [h]	Trasa [km]	Spotreba [l]	Náklady na palivo [€]	Náklady na posádku [€]
Auto 1	11360.88	3.52	28.95	20.26	22.7	30
Auto 2	13276.98	2.7	24.11	16.88	18.91	22.5
Σ	24637.86	6.22	53.06	37.14	41.61	52.5

Celkové náklady: 94.11

Obr. 4: Experiment 3

Znížením vzdialenosti odpadovej skládky sa znížili celkové výdaje.

## 5.5 Záver simulačných experimentov

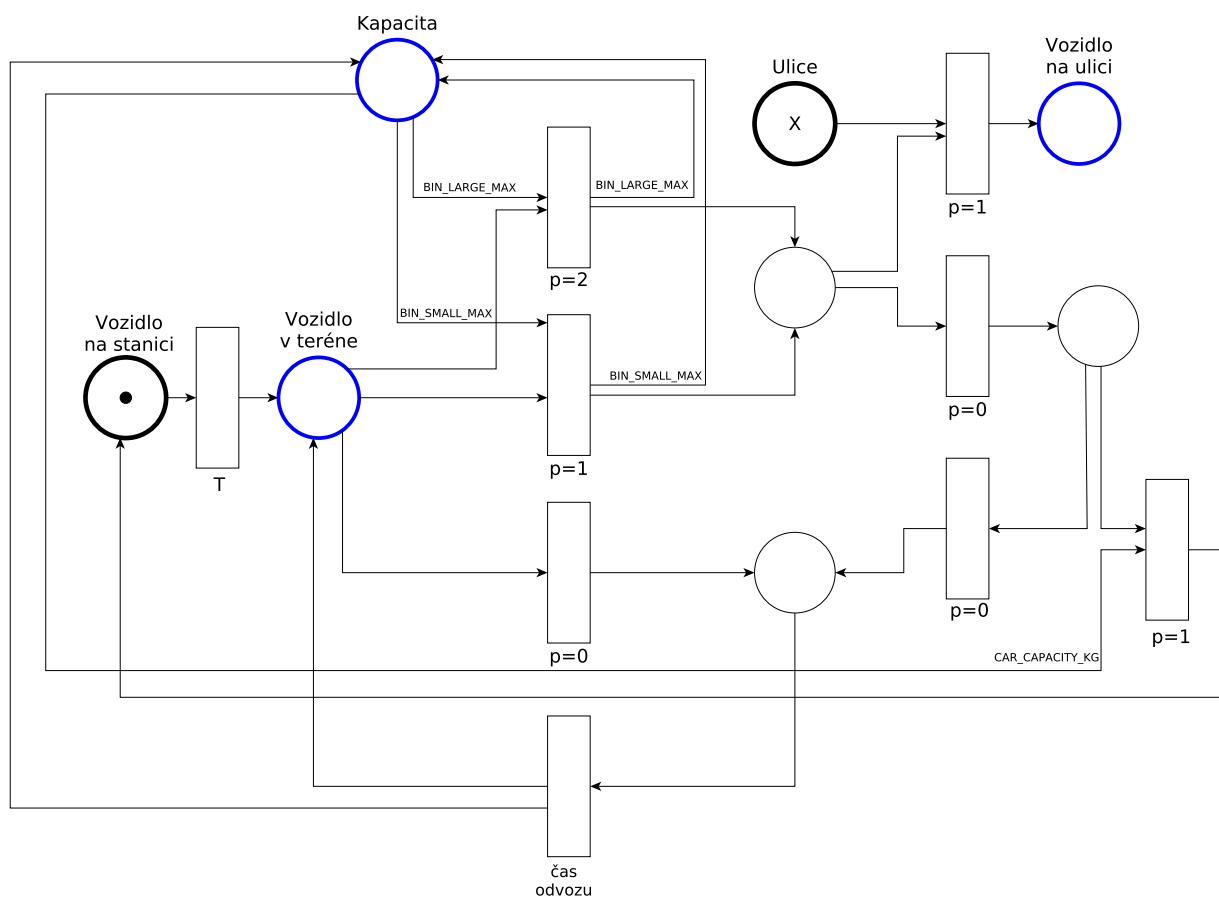
Asdf.

## 6 Záver

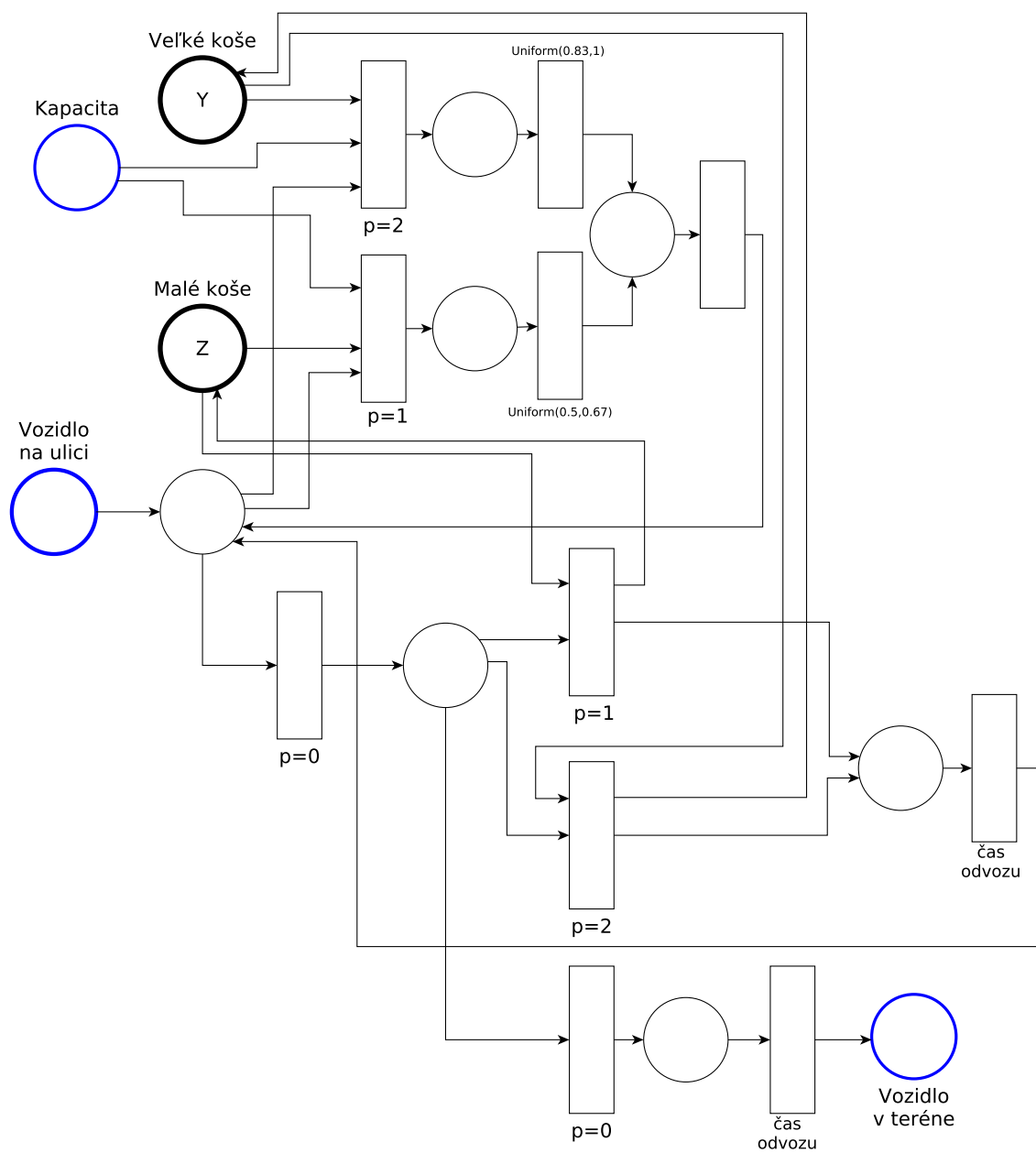
V tejto práci je skúmaný odvoz komunálneho odpadu v meste Rimavská Sobota čo spadá do problematiky odpadové hospodárstvo z oblasti infraštruktúry. Testovali sme chovanie systému a následne konfrontovali informácie získané simuláciou s informáciami o modelovanom systéme, čo potvrdzuje validitu nášho modelu. Uskutočnili sme tri experimenty kde sme manipulovali s počtom vozidiel a vzdialenosťou odpadovej skládky od mesta. Zo získaných výsledkov pomocou experimentov vyplýva doporučenie pre prevádzkovateľa odvozu komunálneho odpadu v meste Rimavská Sobota aby dali dôraz na zvýšenie počtu áut o 1 alebo o vytvorení odpadovej skládky v blízkosti mesta ak sú na to financie. Ak by prijali toto doporučenie, klesli by náklady na odvoz komunálneho odpadu a súčasne by sa zlepšila efektivita odvozu odpadu. Naše experimenty poukazujú na činitele ktoré môžu výrazne ovplyvniť náklady na zozbieranie odpadu a jeho vývoz z mesta.



## 7 Prílohy



Obr. 5: Petriho sieť (časť 1),  $X$  určuje počet ulíc



Obr. 6: Petriho sieť (časť 2),  $Y$  určuje počet veľkých a  $Z$  počet malých košov

## Literatúra

- [1] Cena paliva.  
[auto.sme.sk/cerpacia-stanica/slovnaft-rimavska-sobota-kosicka-cesta-hlavny-tah-zvolen-kosice-220](http://auto.sme.sk/cerpacia-stanica/slovnaft-rimavska-sobota-kosicka-cesta-hlavny-tah-zvolen-kosice-220).
- [2] Fakulta informačních technologií - Vysokého učení technického v Brně. [www.fit.vutbr.cz](http://www.fit.vutbr.cz).
- [3] Harmonogram vývozu komunálneho odpadu.  
[www.rimavskasobota.sk/download\\_file\\_f.php?id=55721](http://www.rimavskasobota.sk/download_file_f.php?id=55721).
- [4] Technické služby mesta Rimavská Sobota.  
[www.rimavskasobota.sk/technicke-sluzby-mesta.phtml?id3=43355](http://www.rimavskasobota.sk/technicke-sluzby-mesta.phtml?id3=43355).
- [5] Peter Peringer, Martin Hrubý: *Modelování a simulace*. [Online].  
URL <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>
- [6] Témata projektů IMS 2017/18: [perchta.fit.vutbr.cz:8000/vyuka-ims/42](http://perchta.fit.vutbr.cz:8000/vyuka-ims/42).