



**Simulační studie**  
**Rozvoz jídla firmou Freshbox**  
Tým: ModelX  
Varianta 2: Doprava zboží nebo osob

8. prosince 2018

**Dominik Harmim** (xharmi00)  
Vojtěch Hertl (xhertl04)

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>1</b>
1.1	Autoři, zdroje	1
1.2	Ověření validity	1
<b>2</b>	<b>Rozbor tématu a použitých metod/technologií</b>	<b>1</b>
2.1	Použité postupy	1
2.2	Popis původu použitých metod/technologií	2
<b>3</b>	<b>Koncepce modelu</b>	<b>2</b>
3.1	Popis konceptuálního modelu	2
3.2	Forma konceptuálního modelu	2
<b>4</b>	<b>Architektura simulačního modelu</b>	<b>3</b>
4.1	Mapování konceptuálního modulu do simulačního modelu	3
<b>5</b>	<b>Podstata simulačních experimentů a jejich průběh</b>	<b>3</b>
5.1	Postup experimentování	3
5.2	Experimenty	3
5.2.1	Experiment 1	3
5.2.2	Experiment 2	3
5.2.3	Experiment 3	4
5.2.4	Experiment 4	4
5.3	Závěry experimentů	4
<b>6</b>	<b>Shrnutí simulačních experimentů a závěr</b>	<b>4</b>
<b>A</b>	<b>Petriho síť</b>	<b>6</b>

# 1 Úvod

V této práci je řešen proces sestavování modelu [2, snímek 7] pro rozvoz jídla po Brně firmou Freshbox [1] a jeho následná simulace [2, snímek 33]. Díky tomuto modelu a simulačním experimentům [2, snímek 9] nad ním je možno pozorovat efektivitu a přínos v různých podmínkách. Smyslem experimentů je zjistit, jak kvalitně navržený je systém [2, snímek 18] a zda by se změnou některého z ovlivňujících faktorů mohl zdokonalit. V reálném systému může být obtížné a finančně nákladné tyto ovlivňující faktory měnit a zjišťovat, jak se bude systém chovat, proto je vhodné získat nové znalosti o reálném systému použitím principů modelování a simulace [2, snímek 9].

## 1.1 Autoři, zdroje

Projekt vypracovali studenti Dominik Harmim a Vojtěch Hertl z FIT VUT v Brně.

K technické části této práce bylo využito zdrojů z kursu Modelování a simulace na FIT VUT v Brně. Jako zdroj k faktům sloužily webové stránky firmy Freshbox a také vedoucí této firmy, Mgr. Silvie Obadalová (obadalova@freshbox.cz).

## 1.2 Ověření validity

Ověřování validity [1, snímek 37] probíhalo telefonicky a elektronicky s vedoucí firmy Freshbox, magistrou Obadalovou. Na základě této komunikace byla získána všechna data potřebná k experimentálnímu ověřování validity modelu. Statistická data byla extrahována z naměřených statistik firmy Freshbox. Validita byla také ověřena pomocí experimentů a srovnáním s realitou.

# 2 Rozbor tématu a použitých metod/technologií

Všechna použitá fakta jsou zprůměrována ze všech získaných informací.

Zákazníci mají předem objednaná jídla od firmy Freshbox, která tato jídla každý den od 6:30 hodin do 12:30 hodin (tj. 6 hodin) rozváží zákazníkům po Brně a okolí. Firma Freshbox rozváží jídlo 16 auty, přičemž jedno auto je schopné naložit maximálně 500 jídel. Každý den se rozváží průměrně 21 200 jídel  $\pm$  1 000 jídel. Firma má na začátku rozvozu již všechna jídla připravena a v 6:30 hodin se připraví všechna auta, do kterých se naloží maximální počet jídel, který je dán maximální kapacitou auta. Naložení jednoho auta průměrně trvá 11 minut  $\pm$  3 minuty. Rozvoz všech jídel jednoho auta trvá průměrně 97 minut  $\pm$  12 minut. Při tomto rozvozu každé auto urazí průměrně 43 km  $\pm$  8 km. Pro rozvoz se používají auta Volkswagen Caddy 1.9 TDI. Tato auta mají spotřebu 7,7 l/100 km<sup>1</sup> nafty při městském provozu. Když auto rozveze všechna naložená jídla, vrátí se na pobočku Freshbox, aby se mohla naložit další jídla. Samotné nakládání jídel provádí sám řadič daného auta. Tento proces se opakuje tak dlouho, dokud nejsou rozvezena všechna jídla. Jeden zákazník (právnícká nebo fyzická osoba) si samozřejmě může objednat více jídel na jedno místo doručení, což se typicky děje, protože pravidelnými zákazníky jsou firmy, které si objednávají denně řádově desítky jídel.

## 2.1 Použité postupy

Pro vytvoření modelu byl použit programovací jazyk C++ za podpory simulační knihovny SIMLIB [3]. Tyto technologie jsou ideální pro řešení zadaného problému, jelikož poskytují všechna potřebná rozhraní k implementaci modelu. Další výhodou je, že se jedná o otevřený software, jsou to multi-platformní technologie a poměrně jednoduše se používají, nejedná se o nic zbytečně těžkopádného. Dále byly použity postupy popsané v textech ke kursu Modelování a simulace na FIT VUT v Brně [2] k vytváření Petriho sítě [2, snímek 123] a samotnému programování za použití knihovny SIMLIB.

<sup>1</sup><https://www.auto-data.net/en/volkswagen-caddy-maxi-life-typ-2k-1.9-tdi-105hp-8855>

## 2.2 Popis původu použitých metod/technologií

Použili jsme standardní třídy a funkce jazyka C++<sup>2</sup>. Drželi jsme se standardu C++14. Využívali jsme možnosti oběktově orientovaného návrhu.

Pro překlad zdrojových souborů byly použity nástroje CMake<sup>3</sup> a GNU Make<sup>4</sup>.

Knihovna SIMLIB byla získána z oficiálních stránek tohoto nástroje<sup>5</sup>. Použili jsme nejnovější dostupnou verzi (ke dni 8. prosince 2018), tj 3.07. Autory tohoto nástroje jsou Petr Peringer, David Leska a David Martinek, viz [3]. Pro účely vytvoření našeho simulačního modelu jsme používali standardní nástroje a rohraní této knihovny.

## 3 Koncepce modelu

V této sekci se zpracovává návrh konceptuálního modelu[snímek 48][2] nad systémem, který je brán ze své podstaty jako systém hromadné obsluhy[snímek 136][2]. Při vytváření je potřeba vybrat ze všech údajů ty podstatné informace pro model. Z rozboru tématu plyne, že je důležité namodelovat všechno, co souvisí se samotným rozvozem. Díky skutečnosti, že všechny jednotlivé údaje jsou zprůměrovány, je zapotřebí simulovat průběh jednoho dne, přičemž se samozřejmě může den ode dne nepatrně lišit. Na oba proměnné časové údaje při modelování se tedy použije rovnoměrné rozdělení[snímek 89][2] s vyhovující odchylkou. Aby se model zjednodušil, průměrný počet jídel, který se každý den rozváží, se zaokrouhlí, aby byl dělitelný maximální kapacitou aut. Na validitu to má nepatrný vliv až zanedbatelný jelikož jsou údaje zprůměrovány. Dále značka auta, spotřeba paliva a cena nejsou pro model důležité, tyto informace budou použity při zefektivňování systému. Přesto, že tato situace reálně často, díky již nabraným zkušenostem z reality, nenastává, pro lepší experimentování je přidán druhý koncový stav, který znamená, že směna skončí dříve než jsou rozvezena všechna jídla, tedy nějaká jídla zbydou na skladě. Tento stav značí neúspěšné dokončení směny, protože se nestihlo rozvést všechno jídlo v časovém limitu. Předpokládá se také, že auto, které započne ještě během pracovní směny svůj cyklus, ho celý dokončí. Ovšem pokud mezitím skončila směna, znamená to, že byl rozvoz neúspěšný z časového hlediska.

### 3.1 Popis konceptuálního modelu

Model se skládá ze dvou hlavních větví. První značí samotný průběh rozvozu jídel a druhá časovač. Druhá z větví jen určuje, jak dlouho probíhá pracovní směna, to je 6 hodin, a jakmile směna skončí, skončí rozvoz jídel. První větev má dvě vstupní proměnné - počet aut a počet jídel. Auto zde slouží jako obslužná linka, kde pokud je některé volné a připravené na rozvoz a zároveň jsou ještě nějaká jídla na skladě, začnou se nakládat. Pokud je však některé z aut připraveno na rozvoz, ale již byla všechna jídla rozvezena, skončí pracovní směna. Po naložení jídel se auto vydá na cestu a všechna jídla rozveze. Po ukončení této činnosti je auto zase volné a připraveno k dalšímu použití.

### 3.2 Forma konceptuálního modelu

Model je vizualizován pomocí Petriho sítě v příloze A a doplněn informacemi a legendou.

---

<sup>2</sup><https://cppreference.com/w/cpp>

<sup>3</sup><https://cmake.org>

<sup>4</sup><https://www.gnu.org/software/make>

<sup>5</sup><http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB>

## 4 Architektura simulačního modelu

### 4.1 Mapování konceptuálního modulu do simulačního modelu

## 5 Podstata simulačních experimentů a jejich průběh

Cílem experimentů bylo nejdříve ověřit validitu modelu, případně zpětně upravit vstupní průměrné hodnoty, aby byl model co nejpodobnější skutečnosti. Další podstatou experimentů bylo demonstrovat, jak je systém efektivní, zjistit jeho limity a pokusit se o optimalizaci. Pomocí posledního experimentu se zjišťovalo, jestli je možné bez ohledu na režii systém rozšířit a urychlit pracovní směnu.

### 5.1 Postup experimentování

Každý experiment spočíval ve spuštění simulace 5krát po sobě v cyklu se zvolenými hodnotami. Všechny podstatné výstupní údaje se poté vložily do tabulky a zprůměrovaly. V každém experimentu také probíhala kontrola úspěšnosti, tedy zda se stihlo rozvést všechno jídlo během směny. Pokud směna skončila v momentě, kdy bylo alespoň 1 auto na cestě, experiment se označil za neúspěch. Pokud není stoprocentní úspěšnost, nelze počítat, že je experiment validní a celý se považuje za neúspěšný. Nakonec se z výsledků učiní závěr a pokud nebyl experiment úspěšný, jsou na základě těchto dat zvoleny nové vstupní hodnoty pro další experiment.

1. Určení vstupních hodnot, podle zadání experimentu.
2. Spuštění simulace.
3. Vypsání výstupů do tabulky.
4. Zprůměrování výsledku, zhodnocení a učinění závěru.

### 5.2 Experimenty

#### 5.2.1 Experiment 1

První experiment má za úkol ověřit validitu modelu. Používá reálné hodnoty, které byly získány při zjišťování informací. Průměrný počet jídel je tedy 21200 a počet aut 16. Spuštěn byl jen jednou.

<b>Experiment 1</b>					
Počet jídel	Počet aut	Celkový čas	Ujetá vzdálenost [km]	Spotřeba [l]	Úspěch
21400	16	5:36	1831	140,9	<b>100%</b>

Z tabulky je zřejmé, že je model validní. Celkový čas nedosahuje nikdy 6 hodin, rozvoz má dokonce průměrně 14 minut rezervu.

#### 5.2.2 Experiment 2

Cílem druhého experimentu bylo zjistit limity systému ve smyslu, kolik jídel je za aktuálních podmínek firma schopná rozvést za jednu směnu. Vstupní hodnota "počet jídel" byla tedy při každém novém experimentu zvýšena o určitou hodnotu.

<b>Experiment 2</b>				
Počet jídel	Počet aut	Celkový čas	Úspěch	Průměrný počet jídel
21400	16	5:36	<b>100%</b>	<b>21200</b>
23400	16	5:39	<b>100%</b>	<b>23000</b>
24500	16	5:57	<b>20%</b>	<b>24200</b>

Při použití průměrného počtu jídel 23000 byla úspěšnost rozvozu ještě stoprocentní, ale při zvýšení této hodnoty o dalších 1200 už z 80% pokusů doba směny dosáhla na hodnotu 6 hodin a některá auta stále ještě rozvázela. Z experimentů vyplynulo, že při překročení hranice 24000 jídel nebylo téměř možné stihnout rovoz v časovém intervalu.

### 5.2.3 Experiment 3

V tomto experimentu je záměr zjistit díky změně počtu aut, zda se nedá snížit spotřeba paliva a tím snížit režii. Postupným odebráním nebo přidáváním rozvážejících aut se bude ujetá vzdálenost a spotřeba měnit.

<b>Experiment 3</b>					
Počet jídel	Počet aut	Celkový čas	Ujetá vzdálenost [km]	Spotřeba [l]	Úspěch
21400	<b>16</b>	5:36	1831	<b>140,9</b>	<b>100 %</b>
21400	<b>15</b>	5:44	1836	<b>141,3</b>	<b>100 %</b>
21400	<b>14</b>	5:57	1801	<b>138,6</b>	<b>40 %</b>
21400	<b>17</b>	5:30	1839	<b>141,6</b>	<b>100 %</b>
21400	<b>25</b>	3:47	1837	<b>141,4</b>	<b>100 %</b>

Tento experiment vrací neočekávané výsledky. Při změně počtu aut, pokud je úspěšnost stoprocentní, se vzdálenost a tedy i spotřeba liší jen nepatrně. Je zřejmé, že čím více by se udělalo pokusů, tím více by si byly hodnoty podobné. Lze tedy usoudit, že spotřeba není závislá na počtu aut, ale spíše na počtu rozvážených jídel.

### 5.2.4 Experiment 4

Díky poslednímu experimentu je snaha dojít k závěru, jestli systém ustojí i při větších číslech. Zvýšení počtu průměrně rozvážených jídel na 40000 a zároveň požadavek zrychlení rozvozu o hodinu, takže maximální přípustný čas je 5 hodin. Proměná bude počet aut, nezáleží na ceně.

<b>Experiment 4</b>					
Počet jídel	Počet aut	Celkový čas	Ujetá vzdálenost [km]	Spotřeba [l]	Úspěch (5h)
39700	<b>40</b>	<b>4:34</b>	3417	263,1	<b>60 %</b>
39700	<b>42</b>	<b>3:50</b>	3397	262,2	<b>100 %</b>

Už po dvou experimentech se podařilo dosáhnout stoprocentní úspěšnosti. Při 40 autech byly nějaké pokusy neúspěšné, ale při 42 autech se stihla všechna jídla rozvézt průměrně za 3 hodiny a 50 minut, což je dokonce o hodinu rychleji než bylo požadováno.

## 5.3 Závěry experimentů

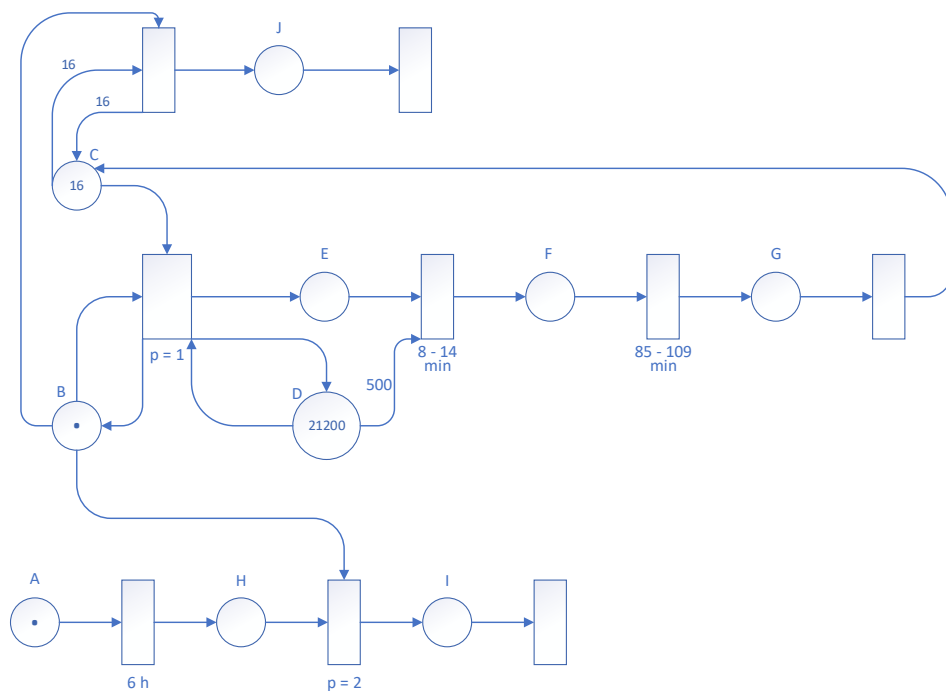
Bylo provedeno více než 9 experimentů v různých podmínkách. V průběhu experimentování byla zjištěna validita původního modelu. Díky dalším experimentům se podařilo zjistit několik užitečných informací. Experimenty lze považovat s dostatečnou věrohodností za správný zdroj informací, neboť se každý experiment skládal z několika pokusů, z nichž byly všechny výsledky ještě zprůměrovány.

## 6 Shrnutí simulačních experimentů a závěr

## Literatura

- [1] Freshbox: Freshbox. [online], 2018, [vid. 2018-12-05]. Dostupné z: <http://www.freshbox.cz>
- [2] Peringer, P.; Hrubý, M.: Modelování a simulace, Text k přednáškám kursu Modelování a simulace na FIT VUT v Brně. [online], 22. listopad 2018, [vid. 2018-12-05]. Dostupné z: <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>
- [3] Peringer, P.; Leska, D.; Martinek, D.: SIMLIB/C++ (SIMulation LIBrary for C++). [online], 19. září 2018, [vid. 2018-12-05]. Dostupné z: <http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB>

## A Petriho síť



- A Začátek směny, spuštění časovače.
- B Identifikátor, je-li směna.
- C Volná auta.
- D Počet jídel zbylých k rozvozu.
- E Auta se nakládají.
- F Auta rozváží jídla.
- G Auta skončila rozvoz.
- H Čekání na ukončení směny z časového důvodu.
- I Ukončení směny z časového důvodu.
- J Ukončení směny z důvodu rozvezení všech jídel před koncem směny.

Obrázek 1: Petriho síť