

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

## **Projekt do předmětu IMS:**

Téma č. 9: Diskrétní model z oblasti služeb a dopravy  
Simulace přepravy cementu

Petr Dančák – xdanca01

Trněný Matěj – xtrnen02

Datum: 26.11.2020

## Obsah

1. Úvod.....	2
1.1. Autoři a zdroje.....	2
1.2. Validace modelu .....	2
2. Fakta a informace.....	2
2.1. Použité postupy .....	3
2.2. Popis původu metod/technologií.....	3
3. Koncepce modelu.....	3
3.1. Vyjádření konceptuálního modelu.....	3
3.2. Forma konceptuálního modelu (3) .....	4
4. Architektura simulačního modelu.....	5
4.1. Mapování konceptuálního modelu na simulační model.....	5
5. Experimentování .....	5
5.1. Postup pro experimentování.....	5
5.2. Dokumentaci jednotlivých experimentů .....	6
5.2.1. Experiment 1 .....	6
5.2.2. Experiment 2 .....	6
5.2.3. Experiment 3 .....	6
5.2.4. Experiment 4.....	7
5.3. Závěr experimentování.....	7
6. Shrnutí experimentů a závěr .....	7
7. Reference .....	7

# 1. Úvod

Projekt slouží pro účely simulace provozu jednoho ze spojů cementárny. Pro účely simulace byl vytvořen abstraktní model pomocí petriho sítě (4, stránka 123) a simulační model (4, stránka 44) vznikl s využitím knihovny SIMLIB (1). Smyslem experimentu je zjistit, jak by se systém (4, stránka 7) choval s rozdílným počtem převážených vagónů, jestli by nestačilo například pro optimalizaci použití méně vagónů a k zjištění, jestli je možné převézt určité množství materiálu za určitou časovou dobu a s určitým množstvím vagónů. Pro práci na projektu bylo namáhavé získat vhodné informace, jelikož každá firma si své statistiky a údaje obecně velmi chrání nebo je dokonce ani vůbec nemá.

## 1.1. Autoři a zdroje

Pro účely projektu nám byly poskytnuty zdroje od vícero zaměstnanců nejmenované cementárny, a to vzhledem k popisu procesu a statistickým údajům, mezi které například patří čekací doby, informace o převezeném množství, technologiích.

## 1.2. Validace modelu

Validace (4, stránka 37) modelu byla ověřena na základě poskytnutých statistik a výstupních údajů simulačního modelu (4, stránka 44), které se shodovaly. Následně byl model ověřen na základě experimentů se vstupními hodnotami, kde se kontrolovalo, jestli výstupní hodnoty nedávají extrémně rozdílné výsledky, které by nemusely dávat smysl.

# 2. Fakta a informace

Pro provoz spoje jsou neustále k dispozici strojvedoucí, kteří si pro každý převoz vezmou nový vlak (celkem jsou 2) a ten zkontrolují (18-22 min). Poté zajedou pro prázdné vagóny (celkem je vagónů 250), které napojí k vlaku (3-7 min) a převezou je směrem k nakládce (13-17 min), kde je odpojí a čeká na signál od obsluhy o dokončení nakládky. Vagónů je vždy maximálně 11, jelikož maximální kapacita nakládky je 11 vozů. Obsluha postupně nakládá vagóny cementem, který může být jedním ze 3 druhů (32.5R, 42.5R, 52.5R) a podle druhu cementu se liší doba nakládky jednotlivých vagónů (20,25,30min +2 min). Pravděpodobnost nakládání nějakého typu cementu byla vypočítaná ze statistik minulého roku (110 000 tun – 32.5R, 47 000 tun – 42.5R, 13 000 tun – 52.5R – 65 %, 25 %, 10 %). Po naložení všech vagónů, které mají všechny stejnou nosnost (54tun) k nim strojvedoucí opět napojí vlak (3-7 min) a převezou je na odstavnou kolej (8-12 min), kde vagóny postupně skládá a proces nakládání opakuje, dokud jich není určité množství (27). Jakmile jsou vagóny naloženy, tak čekají na odstavné koleji nějakou dobu, dokud nemohou být převezeny do jiné stanice, tato doba je různá a byla nám k ní poskytnutá statistika časových oken a počtu čekání v jednotlivých časových oknech (20-40: 24x, 40-60: 34x, 60-80: 31x, 80-100: 28x), což připomíná rovnoměrné rozložení (4, stránka 89) od 20 hodin do 100 hodin. Pro každý spoj je vždy maximálně připraveno 27 vagónů, tudíž strojvedoucí nepřipravuje další vagóny pro daný spoj, ale začíná připravovat další vagóny po odjezdu právě čekajících.

Pro odvoz do cílové stanice je určena jiná skupina strojvedoucích, kteří čekají na signál od výpravního. Ti mají k dispozici jiný druh lokomotivy (celkem jsou k dispozici 2), která slouží pro odvoz do cílové stanice. Strojvedoucí musí při převzetí lokomotivy zkontrolovat její stav (18-22 min). Pak je možné vzít si připravené vagóny (3-7 min). Jelikož jsou nějaké předpisy, tak je nutné provést zkoušku brzd (23-27 min) a následně zkontrolovat vagóny (23-27 min). Jakmile je vše zkontrolováno

dojde k převozu, který zabere (8 hod  $\pm$  10 min). Po této době vlak přijíždí i s vagóny do cílové stanice, kde vagóny převezme na určenou kolej a odpojí je od lokomotivy (3-7 min). Poté se (pro cestu zpět prohodí strojvedoucí) vezmou prázdné vagóny z nějaké minulé přepravy a ty opět napojí (3-7 min). Opět se provede zkouška brzd (23-27 min) a vagóny se zkontrolují (23-27 min). Vlak cestuje zpět do počáteční stanice (8 hod  $\pm$  10 min), kde vagóny odpojí na určeném místě (3-7 min), kde se vagóny shromažďují pro další převoz.

## 2.1. Použité postupy

Projekt byl vypracován v jazyce C++ (2) za použití knihovny SIMLIB (1), jelikož to byl jeden z požadavků a zároveň poskytuje třídy, proměnné a funkce, které jsou vhodné pro modelování SHO (4, stránka 136).

## 2.2. Popis původu metod/technologií

V projektu byly použité funkce a objekty ze standardní knihovny jazyka C++ (2), funkce a proměnné z knihovny pro zpracování argumentů getopt (3) a třídy, metody a funkce z knihovny pro simulaci SIMLIB (1) vytvořenou Petrem Peringerem, Davidem Leskou a Davidem Martínkem.

# 3. Koncepce modelu

Během modelování (4, stránka 8) bylo zanedbáno střídání strojvedoucích, jelikož je v realitě vždy někdo, kdo může danou činnost provádět, a tak je v modelu zanedbáno střídání strojvedoucích. Dále je pro účely simulace (4, stránka 8) použito normální rozložení (4, stránka 93) pro délku převozu se střední hodnotou 480 a rozptylem 3, což přibližně odpovídá časovému úseku pro převoz vlaků mezi stanicemi (480 min  $\pm$  10 min). Pro simulaci časového okna pro čekání na odstavné koleji bylo použito rovnoměrné rozložení (4, stránka 89) od 20 do 100, jelikož to nejvíce vystihlo křivku rozmezí čekání. Pro ostatní rozmezí simulující čekání je použito rovnoměrné rozdělení (4, stránka 89).

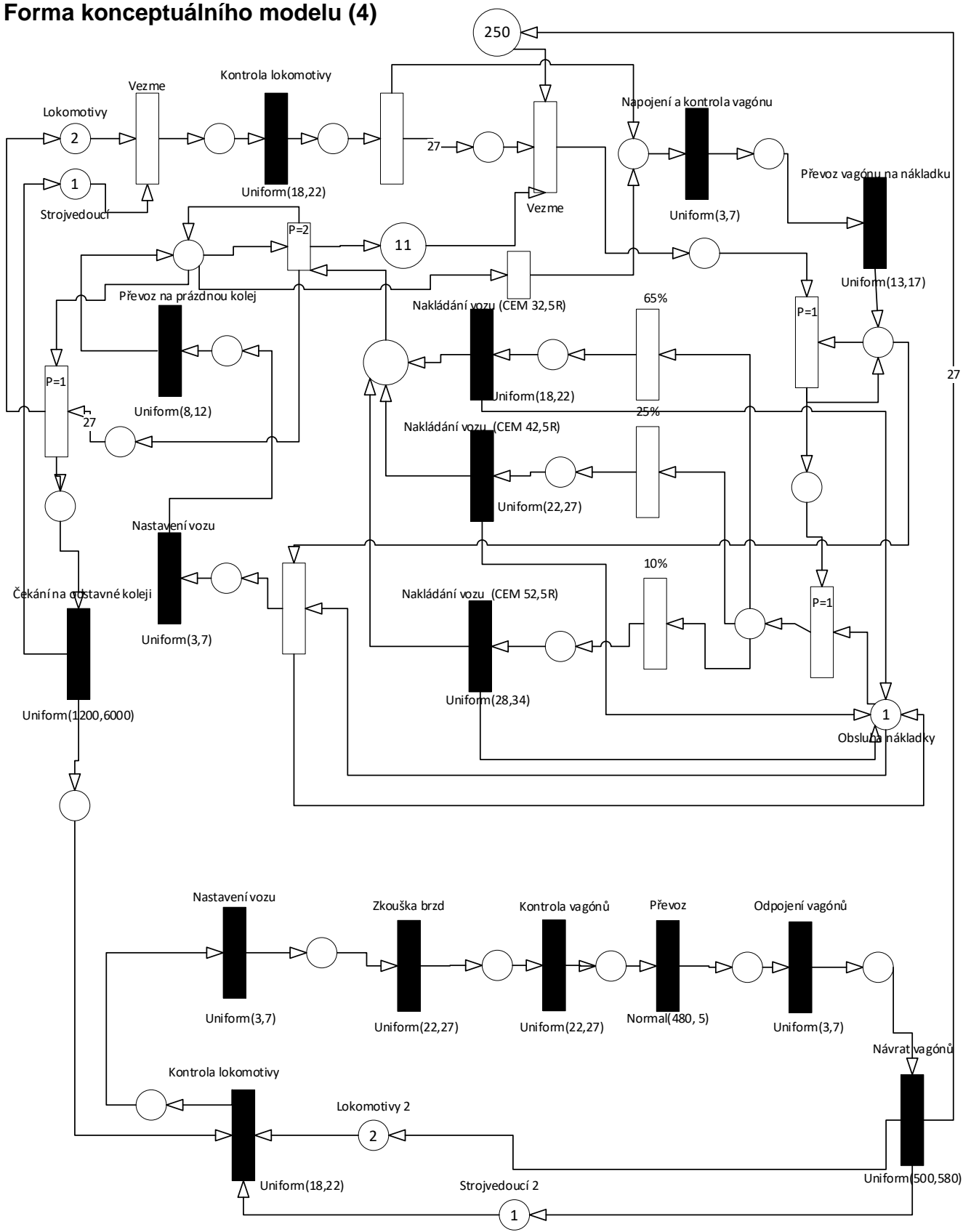
## 3.1. Vyjádření konceptuálního modelu

Model obsahuje 2 paralelně závislé procesy, kde první reprezentuje strojvedoucího1, který připravuje vagóny pro převoz do cílové stanice a strojvedoucího2, který čeká na připravené vagóny a signál od výpravčího (zahrnuto v strojvedoucí1), aby mohl převézt vagóny do cílové stanice a vrátit zpět prázdné.

Začátek modelu závisí na strojvedoucí1, který vytvoří 27 procesů, jestliže se mu povede zabrat 27 kapacity ze zdroje VAGÓNY představující vagóny. Z důvodu kapacity nakládky procesy vagónů zabírají kapacitu nakládky zajištěnou zdrojem NAKLÁDKA o velikosti 11. Ve stejnou dobu strojvedoucí1 zahajuje proces čekání, kde na konci čekání na něj čekají procesy vagónů, které jednotlivě předává obsluze nakládky. Proces náhodně vybere typ cementu a podle typu čeká určitou dobu. Po postupném naložení všech vagónů obsluha je zabrána strojvedoucí1 (signál konec nakládání), následně vrácena a proces strojvedoucího1 zahájí čekání. Po konci čekání strojvedoucí přesune procesy vagónů do stavu čekání na odstavné koleji, vrátí zdroje NAKLÁDKY zabrané vagóny a zkontroluje počet vagónů na odstavné koleji. Jestliže je počet procesů vagónů alespoň 27, tak vrátí lokomotivu a zahájí čekání na uplynutí doby odvozu pro strojvedoucího2. Po uplynutí doby opakuje proces nakládání pro další převoz.

Strojvedoucí2 čeká na proces signalizující odvoz vagónů. Zabere lokomotivu a začne čekání. Po uplynutí doby čekání vrátí kapacitu zabranou vagóny zpět do zdroje VAGÓNY, ze kterých strojvedoucí1 čerpal pro vytváření vagónů.

### 3.2. Forma konceptuálneho modelu (4)



Model je vyobrazen petriho sítí (4, stránka 123).

## 4. Architektura simulačního modelu

Simulační model (4, stránka 44) nejdříve načte argumenty z příkazové řádky, kde na vstupu je jeden z povinných argumentů argument „--vagony“, pomocí kterého se zvolí počet simulovaných vagónů pro převoz. Dále je nutné zadat argument „--cas“, který očekává hodnotu odpovídající délce provozu ve dnech. Po nastavení proměnných z předaných argumentů se inicializuje časový interval, který vždy začíná od 0 a končí v hodnotě zadanou argumentem „--cas“. Vytvoří se *Generator*, který vytvoří instance prvotních procesů, mezi které patří například *Strojvedouci* a *Strojvedouci2*. *Strojvedouci2* na začátku každé simulace (4, stránka 8) čeká na spuštění od procesu *ProcessManager*, vytvořený procesem *Strojvedouci*. *Strojvedouci*

se pokusí zabrat zdroj lokomotivy1, provede čekání implementované funkcí *Wait* a generovanou náhodnou hodnotou funkcí *Uniform*. Následně vytvoří procesy simulující vagóny. Proces *Vagon* zabere funkci *Enter* ze zdroje vagony a nakládky, aby mohl pokračovat dál pro simulaci naplnění, kde čekání je uskutečněno vložení do fronty *cekani\_na\_stroj* a opětovným spuštěním od *strojvedouciho*, který cyklicky projde celou frontou s vagóny. Po opětovném spuštění si vagóny postupně zaberou obsluhu nakládky s prioritou 1 a simulují proces nakládání metodou *Nalozit*, která náhodně vybere typ cementu, podle kterého se nastavuje doba čekání. Při nakládání se i *strojvedouci* pokusí zabrat obsluhu s prioritou 0, aby měly ostatní procesy vagónů prioritu pro nakládání. Po dokončení procesu naložení se vytvoří nový proces *ProcessManager*, který slouží pro buzení procesu *Strojvedouci2* a opětovném spuštění procesu *Strojvedouci*. *Strojvedouci2* po opětovném spuštění zabere zdroj lokomotivy2 a provede čekání pro nastavení vlaku a dobu převozu. Z fronty následně cyklicky probudí vagóny čekající na konec převozu. Vagóny pak uvolní zabrané zdroje a skončí.

Během celého běhu simulaci si jednotlivé procesy zaznamenávají statistiky do třídních atributů. *Strojvedouci* si zaznamenává počet celkově převezených vagónů a dobu čekání na odstavné koleji. *Strojvedouci2* si vede statistiky o počtu celkově převezených vagónů, časové délce převozu a časové délce čekání na povolení převozu. Vagóny si neuchovávají statistiky o typu cementu, ale podle typu zvoleného cementu inkrementují hodnotu globálních proměnných. *Strojvedouci*, *Strojvedouci2* a *Generator* mají implementovanou metodou *Output*, která vypíše statistické údaje, které procesy během běhu programu nasbíraly.

### 4.1. Mapování konceptuálního modelu na simulační model

Třída *Strojvedouci* je odvozena z třídy *Process* a mapuje chování *strojvedouciho*, který se stará o přistavení vagónů, částečně nakládání vagónů a čekání na odstavné koleji. Třída *Vagon* odvozena z třídy *Process* a simuluje proces nakládání vagónů. Třída *Strojvedouci2* je opět odvozena z třídy *Process* a simuluje proces převozu a návratu vagónů. Proces simulující signalizaci/povolení k převozu *Strojvedouci2* je implementován třídou *ProcessManager*, který je odvozen ze třídy *Process*.

## 5. Experimentování

Experimentováním chceme například zjistit, kolik je především zapotřebí dnů pro převoz nějakého určitého množství cementu a to vzhledem na měnícím se počtu vagónů. To je vhodné pro ověření/zjistění, jestli jsou plány podniku převézt stanovené množství reálné a kolik by případně bylo zapotřebí dnů/vagónů.

### 5.1. Postup pro experimentování

Pro každý experiment bude spuštěn model se zkušebními argumenty, kde argumenty budou vybrány ze zadání experimentu nebo na základě předpokladu. Následně výsledky experimentů budou strukturovaně zobrazeny v tabulkách.

## 5.2. Dokumentaci jednotlivých experimentů

### 5.2.1. Experiment 1

Cílem prvního experimentu bylo zjištění chování systému při zadání statistických hodnot minulého roku, a tak ověřit validitu modelu.

Spustíme model s počtem vagónů 27, průměrné množství převážených vagónů, a počtem dnů 352, počet dnů, po kterou cementárna byla minulý rok v provozu.

**Spuštění:** `./model --vagony=27 --cas=352`

ČAS [dnů]	POČET VAGÓNŮ	PŘEVEZENO [tun]
<b>352</b>	<b>27</b>	<b>167670</b>

Výsledek experimentu se podobá realitě, jelikož máme statistiky z minulého roku a pro stejný počet dnů a vagónů bylo převezeno množství 170 000 tun cementu. Odchylna je způsobena hodnotou průměrný počet vagónů z reálného systému je o něco málo větší než 27 a průměrná doba čekání na odstavné koleji nemusí přesně odpovídat realitě, tak je možné usuzovat, že je model validní.

### 5.2.2. Experiment 2

Kolik je nutné dnů pro převoz alespoň 50 000 tun cementu, za použití 27 vagónů (standardní situace)? Počet vagónů nastavíme na číslo 27 a zkusíme předpokládané hodnoty času.

**Spuštění:** `./model -vagony=27 -cas=X`

ČAS [dnů] - X	PŘEVEZENO [tun]
150	71442
115	55404
100	49572
101	49572
<b>102</b>	<b>51030</b>

Experimentem jsme zjistili, že převoz alespoň 50 000 tun cementu by zabral přibližně 102 dnů.

### 5.2.3. Experiment 3

Jak by se změnil počet dnů za použití jiného množství vagónů (25 a 29 vagónů) pro převoz alespoň 50 000 tun cementu?

**Spuštění:** `./model -vagony=Y -cas=X`

ČAS [dnů] - X	POČET VAGÓNŮ - Y	PŘEVEZENO [tun]
102	25	47250
110	25	52650
<b>108</b>	<b>25</b>	<b>51300</b>
107	25	49950
102	29	48546
<b>103</b>	<b>29</b>	<b>50112</b>

Z experimentu bylo zjištěno, že zvednutí počtu vagónů nemusí vždy znamenat větší produkci, jelikož jsou v reálném a simulačním systému náhodné proměnné.

#### 5.2.4. Experiment 4

Jaký je minimální počet vagónů, aby se zvedlo převezené množství cementu alespoň o 20 %, pokud bychom vycházeli z počtu 27 vagónů a 200 dnů?

**Spuštění:** `./model -vagony=X -cas=200`

POČET VAGÓNŮ - X	PŘEVEZENO [tun]
27	96228 (120 % = 115 473,6)
29	100224
31	105462
33	117612
<b>32</b>	<b>117504</b>

Pro zvýšení produktivity o 20 % by mělo být zapotřebí přidání alespoň 5 vagónů, tedy zvýšit průměrný počet vagónů na 32.

### 5.3. Závěr experimentování

Pro účely experimentování byly provedeny 4 experimenty, které popisovaly obecné využití modelu pro jednotlivé úseky využití.

Ze zkoumání výsledků experimentů je jasné, že model je velice závislý na náhodných proměnných, proto některé výsledky nemusí odpovídat očekávání. Například experiment 3, kde se nelogicky při větším počtu vagónů zvýšil počet dnů pro přepravu požadovaného množství cementu. Tato skutečnost by, ale měla být eliminována s delší simulační dobou, kdy se jednotlivé náhodné proměnné časem zprůměrují a tím se budou více podobat jiným experimentům.

Závěry experimentů jsme si ověřili domněnku, že se zvýšeným počtem vagónů roste i produktivita systému.

## 6. Shrnutí experimentů a závěr

Z výsledků experimentů vyplývá, že systém je přesný při předpokladu, že bude simulační doba dostatečně dlouhá, jelikož hned prvním experimentem byla ověřena validita (4, stránka 37) simulačního modelu (4, stránka 44) a to porovnáním výstupu simulace s reálnými daty.

V rámci tohoto projektu vznikl nástroj pro simulaci přípravy vagónů a převozu cementu nějakého reálného spoje, který bude poskytnut jednomu z pracovníků, který nám poskytne požadovaná data.

Vzniklý simulační model (4, stránka 44) byl implementován v jazyce C++ (2) za použití knihovny SIMLIB (1).

## 7. Reference

1. Petr Peringer, David Leska, David Martinek. SIMLIB. *SIMLIB*. [Online] <http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/.cs>.
2. cppreference. *cppreference*. [Online] <https://en.cppreference.com/w>.
3. getopt(3). *man7*. [Online] <https://man7.org/linux/man-pages/man3/getopt.3.html>.
4. Petr Peringer, Martin Hrubý. [Online] <http://perchta.fit.vutbr.cz:8000/vyuka-ims/uploads/1/IMS-20.pdf>.