

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Projekt do předmětu IMS  
Zadání číslo 5: Námořní doprava

30. listopadu 2022

Adam Cologna a Tomáš Souček

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>2</b>
1.1	Autoři a zdroje faktů . . . . .	2
1.2	Validita systému . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Rozbor tématu</b>	<b>3</b>
2.1	Použité postupy . . . . .	3
2.2	Původ technologii . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Koncepce</b>	<b>4</b>
3.1	Konceptuální model a jeho zdůvodnění . . . . .	4
3.2	Implementace . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Architektura simulátoru</b>	<b>5</b>
4.1	Spuštění simulačního modelu . . . . .	5
<b>5</b>	<b>Provedené experimenty</b>	<b>6</b>
5.1	Postup experimentů . . . . .	6
5.2	Shrnutí experimentů . . . . .	6
5.3	Závěry experimentů . . . . .	7
<b>6</b>	<b>Závěr</b>	<b>8</b>
<b>A</b>	<b>Petriho síť</b>	<b>10</b>

# 1 Úvod

Pozornost celého světa si získala v roce 2021 loď Ever Given, poté co zablokovala celý Suezský průplav. Znemožnila tak průplav všem ostatním plavidlům po dobu více než šesti dnů a způsobila tím značné ekonomické škody. Smyslem našich experimentů [3, snímek 9] je tedy demonstrovat případ možného opětovného zablokování tohoto kanálu a jeho následky na opoždění lodí. Bylo správné rozhodnutí počkat na odblokování nebo mělo dojít ke zvolení jiné trasy?

Pozice Suezského průplavu hraje klíčovou roli v jeho důležitosti. Spojuje totiž 193 km dlouhým kanálem v Suezské šíji Středozemní a Rudé moře. Tento kanál, který byl otevřen již v roce 1869, je považován za nejrychlejší spojení mezi západem a východem. Při využití této trasy dojde ke značnému snížení doby plavby, protože alternativní trasa vede právě přes nejjižnější bod Afriky. Jednotlivé posádky uvítají i fakt, že funguje dnem i nocí. [5]

Na základě modelu [3, snímek 7] a simulace [3, snímek 33] bude demonstrována postupně sestupná doba, která byla potřeba na proplutí pro jednotlivé lodě zmíněným kanálem. Pro vytvoření této technické zprávy bylo nutno nastudovat byrokratické detaily a historické události spojeném se Suezským kanálem. Tento krok byl absolutně nezbytný, jelikož by jinak došlo k vytvoření nevalidního modelu, který by pouze chybně informoval čtenáře. Pevně věříme, že se jedná o ojedinělý model, přestože jich existuje mnoho, tak všechny simulují jiné věci, jako například ekonomické dopady. [1]

## 1.1 Autoři a zdroje faktů

Tato práce byla vytvořena týmově a to dvojicí studentů FIT VUT v Brně:

- Adam Cologna (xcolog00)
- Tomáš Souček (xsouce15)

Všechny zdroje informací, ze kterých bylo čerpáno, jsou uvedeny na konci této technické zprávy v sekci Literatura. Po delší úvaze, jsme se rozhodli nevyužít pomoci odborného konzultanta hlavně z důvodu, že se jedná o velmi specifické téma.

## 1.2 Validita systému

Ověřování validity simulačního modelu [3, snímek 44] [3, snímek 37] docházelo hlavně pořádným ověřením informací z vícero zdrojů, tak aby nedošlo k ovlivnění modelu nepravdivou informací. Pokud byly dohledány různé hodnoty, tak došlo k ověření zda je to tak vůbec možné. V případě potvrzení, že se jedná o pravdivé informace, tak se zprůměrovaly hodnoty z více zdrojů. Například k tomu došlo u potřebných hodin k proplutí.

## 2 Rozbor tématu

Simulace představuje situaci zablokování Suezského kanálu a následné časové dopady na projíždějící lodě. Proplutí jedné lodě trvá 12 až 16 hodin. [7] Alternativní trasa přes nejjižnější bod Afriky trvá 10–14 dnů navíc. Dle informací z roku 2019 projede ročně kanálem 18 800 lodí, z čehož vyplývá průměrný počet 51,5 lodí denně a 2,15 za hodinu. [6] V simulaci využíváme pro délku zablokování libovolnou hodnotu mezi osmi hodinami (v roce 2006) a 151 hodinami (v roce 2021 – již dříve zmíněná Ever Given). Další známé blokace byly na tři dny v roce 2004 a v roce 2017 se jednalo o několik hodin. [4]

### 2.1 Použité postupy

Zdrojový soubor byl implementován programovacím jazykem C++ v kombinaci s využitím knihovny SIMLIB. Pro naše potřeby se jednalo o ideální řešení jelikož knihovna SIMLIB obsahuje všechny potřebné funkce pro přetvoření Petriho sítě [3, snímek 123] do kódové verze v rámci simulačního modelu. Pro řešení byly nezbytné taktéž postupy a fakta zmíněné v předmětu Modelování a simulace na FIT VUT v Brně. [2]

### 2.2 Původ technologií

Pro vytvoření simulačního modelu byl použita právě zmiňovaná knihovna SIMLIB v její nejnovější stabilní a otestované verzi 3.08, ze zdroje [2]. Taktéž byly využity základní knihovny v jazyce C++. Výhody spojené s touto volbou jsou objektově orientovaný přístup a volná dostupnost. Pro překlad zdrojových souborů byly použity nástroje CMake a GNU Make.

## 3 Koncepce

Třetí sekce se zabývá zpracováním návrhu abstraktního modelu, který je, dle zadání, koncipován jako systém [3, snímek 7] hromadné obsluhy [3, snímek 136]. Vyskytují se v něm procesy lodí, zaseknutí a obnovení denní kapacity a události generování kapacity a lodí.

Vycházíme z předpokladu, že došlo k zaseknutí lodě v kanálu a stal se neprůjezdným. Lodě přijíždí průměrně každých 28 minut. Tahle blokace trvá 8-151 hodin než se vyřeší. Nákladní plavidla se hromadí ve frontě před Suezským průplavem. Po úspěšném zprůjezdnění se lodě postupně plaví skrze něj v pořadí, v jakém dopluly. Jakmile dorazí do cíle, tak vyhodnotí, kolik času jim trvala celková plavba od momentu příplutí ke kanálu a vyhodnotí jestli měli zvolit obeplutí přes nejjižnější bod Afriky. Jelikož se z dostupných veřejných zdrojů nedá přesně zjistit rychlost jednotlivých lodí, počítá se v modelu se zjištěným rozsahem rozděleným rovnoměrným rozložením. Aby se dosáhlo co možná nejpřesnějšího výsledku, jsou simulace spuštěny několikrát a ke konci dojde k zprůměrování jejich výsledků.

### 3.1 Konceptuální model a jeho zdůvodnění

Pro systém hromadné obsluhy jsme zvolili Petriho síť, která popisuje způsob synchronizace procesů [3, snímek 121] (viz obrázek v příloze A).

Počátek konceptuálního modelu je aktivní stav blokace, který znemožní průplav. Po určitém čase ,z výše zmíněného intervalu, se odblokuje a kanál je připraven k využití. Pokud zároveň existuje i plavidlo, které právě čekalo na tento stav a nebyla vyčerpaná denní kapacita, tak loď vyráží. Po uplynutí 28 minut, dojde opět k uvolnění kanálu pro průjezd další lodí a stávající pluje skrz kanál 12 až 16 hodin.

### 3.2 Implementace

Jelikož jsme si vytvořili Petriho síť, tak jsme zdrojový soubor v jazyce C++ přizpůsobili tak, že jsme se řídili tímto modelem. Nejprve tedy dojde k vytvoření blokace, která zamezí průjezd lodí. Jakmile dojde k odblokování, tak plavidla plují v pořadí, v jakém dorazila a jednou za 28 minut dochází k uvolnění vjezdu pro další loď. Dokud je přístav zablokovaný, dochází ke generování nových lodí a jednou za 24 hodin dojde k obnovení maximální kapacity kanálu. Ve chvíli, kdy je kanál uvolněn, přestávají se generovat nové lodě. Denní kapacita kanálu se pak nadále obnovuje se stejnou frekvencí až do konce běhu simulace. Jelikož používáme v simulaci rovnoměrné rozložení, byla potřeba na začátku běhu programu pokaždé vygenerovat nový *seed*, zajišťující různorodost výsledků každého běhu.

## 4 Architektura simulátoru

Celý zdrojový soubor `main.cpp`, který se nachází v podsložkách `src` a poté `ims2022` se kompletně odráží od modelu 3. Třída **Lod** samozřejmě slouží pro simulaci procesu jednotlivých plavidel (viz algoritmus 1). Třída **Zaseknutí** naopak vyjadřuje úvodní instanci zablokování kanálu (viz algoritmus 2). **GeneratorLodi** vytváří potřebná data pro předvedení příjezdu lodě k Suezskému kanálu. Proces **ResetKapacity** slouží pro obnovení denní kapacity, dle které určujeme, kolik lodí přijíždí s žádostí pro proplutí. V neposlední řadě **GeneratorKapacity** pomáhá s vytvořením potřebné kapacity.

Jelikož se v celém experimentu hojně využívá rovnoměrné rozložení pro generování hodnot, vyskytuje se v každém běhu simulace rozdílný počet lodí. To vychází z faktu, že po odblokování kanálu dochází k zastavení vytváření nových procesů lodí. Počet lodí se tedy odvíjí od délky zablokování samotného kanálu.

---

### Algoritmus 1: Chování procesu jedné lodě

---

- 1 zabrání vjezdu do průplavu;
  - 2 ubrání z denní kapacity kanálu;
  - 3 počkání 28 minut;
  - 4 vrácení volného vjezdu;
  - 5 průplav celým kanálem;
- 

---

### Algoritmus 2: Chování procesu zablokování kanálu

---

- 1 zabrání vjezdu do průplavu;
  - 2 zabrání blokačního tokenu;
  - 3 počkání 8–151 hodin dle rovnoměrného rozložení;
  - 4 vrácení volného vjezdu;
  - 5 zastavení generátoru nových lodí;
- 

### 4.1 Spuštění simulačního modelu

Ovládání simulátoru je velmi jednoduché.

- **make** slouží pro přeložení zdrojového souboru
- **make run** slouží pro spuštění simulace
- **make clean** vymaže binární soubor, před další spuštěním bude potřeba opět přeložit pomocí **make**

## 5 Provedené experimenty

Provádění experimentů si kladlo za cíl zajistit validitu modelu, aby se podobal skutečným situacím. Dalším cílem pak bylo zjistit, zda a při jaké délce zablokování kanálu se ho lodím vyplatí objet.

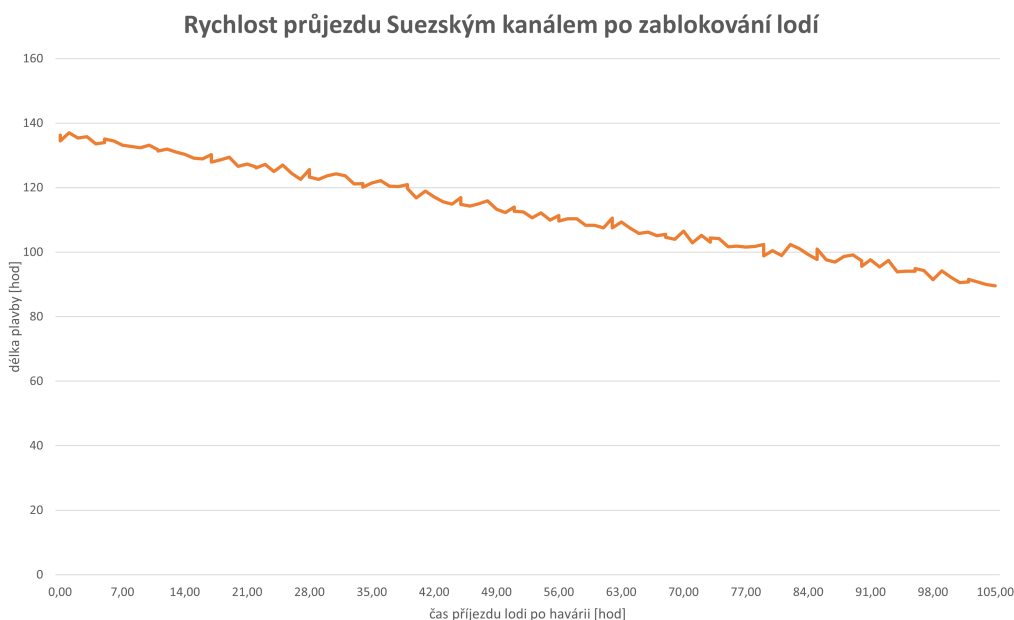
### 5.1 Postup experimentů

Bylo provedeno pět experimentů, které budou jednotlivě popsány v této kapitole. U každé simulace došlo k zaznamenávání dat příjezdu lodí a taktéž údaj, který udával potřebný čas pro jednotlivá plavidla na proplutí. Délka plavby udává čas strávený ve frontě + čas potřebný na průjezd kanálem. Následně z těchto dat byl vytvořen graf, který je však u všech simulací podobný a tím pádem byl vložen pouze jednou jako ukázka.

### 5.2 Shrnutí experimentů

#### Experiment 1

- Doba trvání blokace průplavu: 122,64 hodin
- Průměrná délka plavby: 113,25 hodin
- Medián plavby: 112,34 hodin
- Poměr průměrné délky plavby k délce blokace: 0,923497845



Obrázek 1: Výsledný graf pro experiment 1 (Zdroj: autoři)

### Experiment 2

- Doba trvání blokace průplavu: 65,51 hodin
- Průměrná délka plavby: 64,89 hodin
- Medián plavby: 64,73 hodin
- Poměr průměrné délky plavby k délce blokace: 0,990519306

### Experiment 3

- Doba trvání blokace průplavu: 140,80 hodin
- Průměrná délka plavby: 126,62 hodin
- Medián plavby: 128,50 hodin
- Poměr průměrné délky plavby k délce blokace: 0,899320353

### Experiment 4

- Doba trvání blokace průplavu: 53,52 hodin
- Průměrná délka plavby: 55,39 hodin
- Medián plavby: 56,18 hodin
- Poměr průměrné délky plavby k délce blokace: 1,034872947

### Experiment 5

- Doba trvání blokace průplavu: 67,10 hodin
- Průměrná délka plavby: 66,39 hodin
- Medián plavby: 65,75 hodin
- Poměr průměrné délky plavby k délce blokace: 0,989351038

Zprůměrovaný poměr průměrných délek plaveb k délkám blokad: **0,967512298**

## 5.3 Závěry experimentů

Po proběhnutí těchto pěti simulací došlo ke zprůměrování jednotlivých hodnot poměrů a výsledný průměr byl v poslední kapitole využit k vyvození výsledků. Díky provedení těchto akcí došlo i k ověření validity modelu. Všechny výsledky se nachází v kapitole 6.



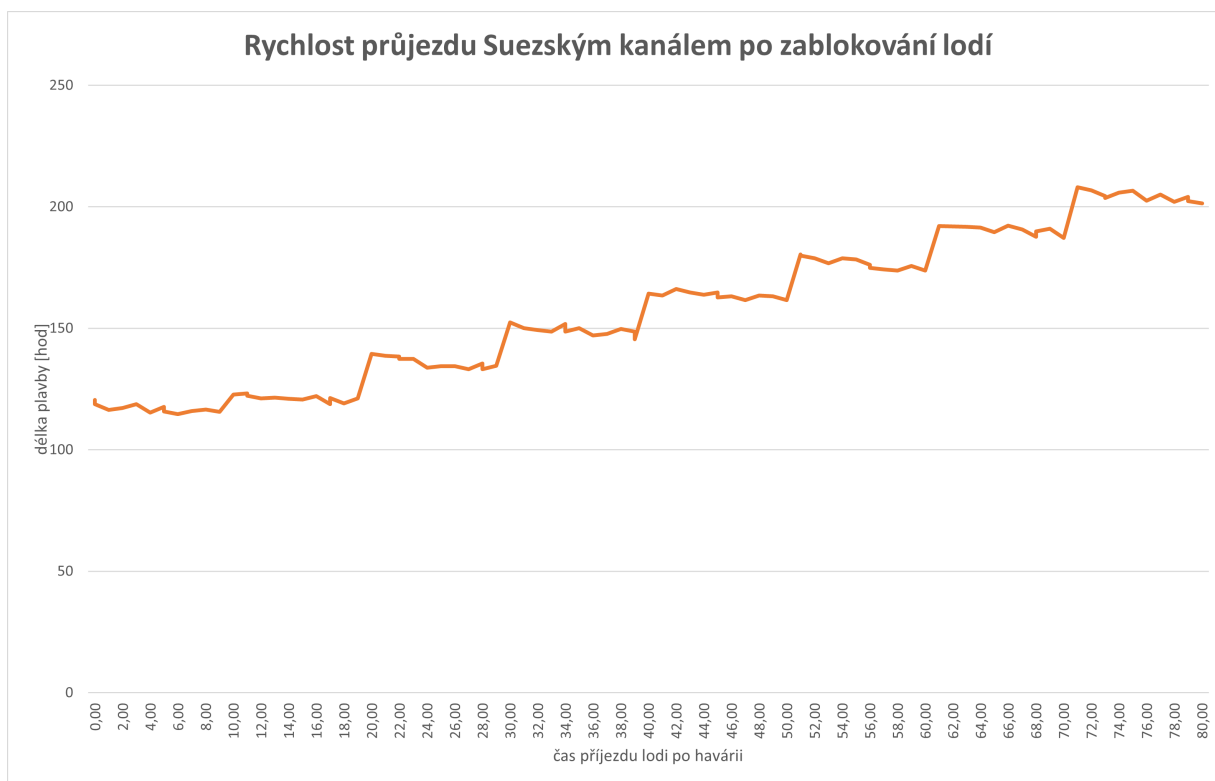
## 6 Závěr

Jako hlavní výsledek bylo zjištění, že vzhledem k době, která je potřeba k vyhnutí se Suezskému průplavu, tak je lepší pro posádky vyčkat na odblokování kanálu. Přesto existují určité hodnoty pro které se vyplatí zvolit právě alternativní trasu. Pokud posádka zvládne jinou trasu během 10 dnů, tak za předpokladu, že blokace trvá déle než 248,05 hodin, je lepší volba kanál objet. Pro 14 dnů se jedná o 347,28 hodin. Výše vybrané 2 hodnoty, značící délku alternativních tras, vychází z kapitoly 2 a výpočet byl proveden za pomoci níže zmíněného vzorce.

$$T_C = T_A \div P$$

$T_C$  – Celkový čas       $T_A$  – Čas alternativní cesty       $P$  – poměrová konstanta

Dále jsme došli k závěru, že čím později dojde loď k zaseknutému kanálu, tím méně času stráví v simulaci. Tento jev vzniká z velké části kvůli velké propustnosti kanálu, takže lodě nabírají zdržení převážně blokadami a ne čekáním v řadě. Naopak by tomu bylo, pokud by byla propustnost kanálu nižší (viz obrázek 2). Jelikož rychle dojde denní kapacita, začnou se na grafu vytvářet takové schody indikující čekání na doplnění kapacity.

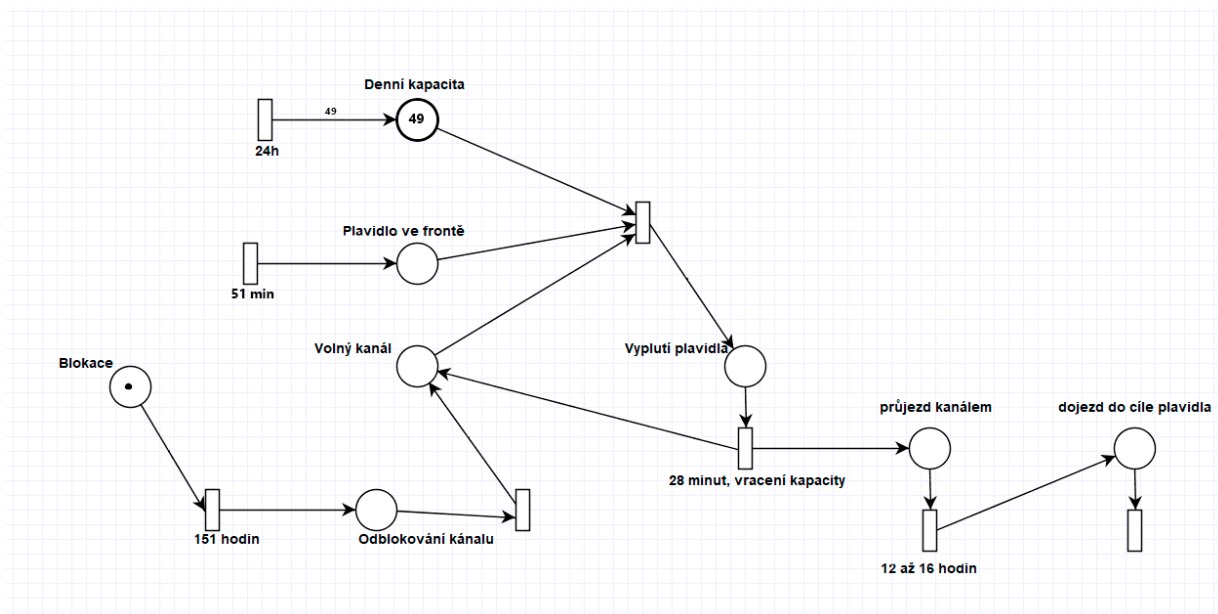


Obrázek 2: Graf simulace s denní kapacitou 24 lodí a dobu zaseknutí 104,87 hod (Zdroj: autoři)

## Literatura

- [1] Bloomberg: Six Days in Suez: The Inside Story of the Ship That Broke Global Trade. [online], [vid. 10.11.2022].  
URL <<https://www.bloomberg.com/news/features/2021-06-24/how-the-billion-dollar-ever-given-cargo-ship-got-stuck-in-the-suez-canal>>
- [2] Dr. Ing. Petr Peringer, D. M., David Leska: SIMLIB/C++ == SIMulation LIBrary for C++. [online], [vid. 25.11.2022].  
URL <<https://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/>>
- [3] Dr. Ing. Petr Peringer, I. M. H. P.: Modelování a simulace. [online], [vid. 20.9.2022].  
URL <<https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>>
- [4] Dzhanova, Y.: The Suez Canal has a contentious history and has been blocked and closed several times since opening. [online], [vid. 17.11.2022].  
URL <<https://www.businessinsider.com/the-suez-canal-blocked-and-closed-several-times-since-opening-2021-3?fbclid=IwAR0gvwnsbvnlhaBWb1HDKVZv3LipgA0ey7m2mJ0zG6Has07LVJuFWxfTzSs>>
- [5] International, P. T.: Why is the Suez Canal so important? [online], [vid. 25.11.2022].  
URL <<https://www.porttechnology.org/news/why-is-the-suez-canal-so-important/>>
- [6] Suez Canal Authority: avigation Statistics. [online], [vid. 15.11.2022].  
URL <<https://www.suezcanal.gov.eg/English/Navigation/Pages/NavigationStatistics.aspx>>
- [7] Suez Canal Authority: Suez Canal FAQ. [online], [vid. 17.11.2022].  
URL <<https://www.suezcanal.gov.eg/English/Pages/FAQ.aspx>>

## A Petriho síť



Obrázek 3: Petriho síť pro náš projekt (Zdroj: autoři)