



# Návrh a simulace architektury lodní přepravy plynu LNG

Var 5 - Energetika, zdroje a suroviny

IMS - modelování a simulace

11. prosince 2021

Jakub Komárek (xkomar33)

Kroupa Dominik (xkroup12)

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>2</b>
1.1	Autoři a zdroje . . . . .	2
1.2	Ověření validity . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Rozbor tématu</b>	<b>2</b>
2.1	Aktéři . . . . .	2
2.1.1	Tanker . . . . .	2
2.1.2	Terminály . . . . .	3
2.1.3	Očekávaný odběr . . . . .	3
2.1.4	Trasa . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Koncepce modelu</b>	<b>4</b>
3.1	Způsob vyjádření konceptuálního modelu . . . . .	4
3.1.1	Generátor německých tankerů . . . . .	4
3.1.2	Generátor externích tankerů . . . . .	4
3.1.3	Terminály . . . . .	4
3.1.4	Tankování . . . . .	4
3.1.5	Poruchy . . . . .	4
3.2	Forma konceptuálního modelu . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Architektura simulačního modelu/simulátoru</b>	<b>5</b>
4.1	Použité postupy pro vytvoření modelu . . . . .	5
4.2	Původ použitých metod . . . . .	5
4.3	Mapování konceptuálního modelu do simulačního modelu . . . . .	5
<b>5</b>	<b>Podstata simulačních experimentů a jejich průběh</b>	<b>6</b>
5.1	Postup při experimentování . . . . .	6
5.2	Jednotlivé experimenty . . . . .	7
5.2.1	Počáteční experiment . . . . .	7
5.2.2	Zapnutí poruch . . . . .	7
5.2.3	Konfigurace německých terminálů . . . . .	8
5.2.4	Použití tankerů s větší kapacitou . . . . .	9
<b>6</b>	<b>Shrnutí simulačních experimentů a závěr</b>	<b>10</b>

# 1 Úvod

Tato práce se věnuje vhodnému sestavení a namodelování architektury pro přepravu zkapalněného plynu LNG lodní přepravou. Cílem práce je navrhnout infrastrukturu tak, aby spolehlivě zajistila zásobování plynem o určitém objemu a zároveň byla co nejvíce ekonomická. Podle aktuální problematiky jsme jako místo pro export zvolili Mexický záliv a jako místo pro import Německo.

V projektu se budeme zajímat, zdali by Německo s aktuální architekturou mohlo nahradit ruský podíl dodávky plynu za pomoci lodní dopravy z Ameriky.

## 1.1 Autoři a zdroje

Tento projekt byl vypracován Jakubem Komárkem a Kroupou Dominikem. Data pro navržení modelu [12, s. 7] byla získána za pomoci veřejně dostupných zdrojů na internetu. Podklady pro provedení projektu jsme získali z předmětu Modelování a simulace na FIT VUT v Brně [12].

## 1.2 Ověření validity

Ověření validity [12, s. 37] proběhlo pomocí srovnání výsledků experimentů s podobnými reálnými přepravními systémy [12, s. 7]. Pomocí veřejně známých či odvoditelných faktů jsme validovali jednotlivé parametry/komponenty modelu. Některé aspekty se nepodařilo dohledat a tak jsme je nahradili pomocí hrubých kalkulací, které jsme následovně porovnali s výstupy modelu.

# 2 Rozbor tématu

V našem projektu se pokusíme z využitím lodní přepravy a stávající architektury zbavit Německo závislosti na Ruském podílu importovaného plynu. Lodní přeprava plynu LNG probíhá obvykle za použití dvojice terminálů - importní a exportní. V exportním terminálu se provádí nakládka plynu na tanker. Exportní terminál musí při nakládce přepravovaný plyn zpracovat a zkapalnit. Importní terminál provádí vykládku plynu. Importní terminál při vykládce obvykle musí plyn převést opět na plynné skupenství. Poté může být plyn vyslán do sítě plynovodů a mezistanic pro odběr[7].

## 2.1 Aktéři

### 2.1.1 Tanker

V současné době jsou využívány dva typy tankerů, membránový a moss (pojmenován po společnosti Moss Maritime).

Membránový typ má nádrž s nákladem spojenou s trupem lodi. Skládá se z více tenkých vrstev (0,7 až 1,5 mm) vyrobených z nerezové oceli. Tato membrána je podporována strukturou trupu [15].

Moss typ obsahuje vícero sférických nádrží s nákladem, které jsou odděleny od trupu. Nádrže mohou být vyrobeny z hliníku, nebo nerezové oceli [15].

Každý typ má své pro a proti. Na rozdíl od moss typu ale membránový typ nabízí při stejné velikosti lodi větší úložný prostor nádrže, jelikož je nádrž uložena uvnitř trupu a může být navržena tak, aby svým tvarem využila

celý tento prostor. Moss typ se sférickými nádržemi takové využití prostoru neumožňuje a proto v lodi vzniká spousta nevyužitého prostoru.

Díky výše zmíněné výhodě budeme v našem modelu uvažovat tanker membránového typu, protože je schopen transportovat větší množství nákladu najednou, což je výhodnější po finanční stránce.

Námi zvolený tanker pro přepravu LNG membránového typu nesoucího název LNG Enterprise disponuje kapacitou 174 milionů litrů zkapalněného plynu [5].

Po vyplutí na širé moře je pro tanker nejvíce ekonomické plout rychlostí 18-20 uzlů (33.3 – 37.0 km/hr) [6]. Při této rychlosti spotřebuje okolo 150 tun paliva za den. Po vyložení nákladu je tanker odstaven a musí se provést natankování. Obvykle se do tankeru vkládá palivo na pokrytí cesty + rezerva, aby tanker mohl uvést co nejvíce nákladu a měl menší spotřebu. Doplnění paliva trvá podle naší kalkulace přibližně okolo 18 hodin. S další reží spojenou s tankováním by doplnění paliva mělo zabrat přibližně 22 hodin [14].

### 2.1.2 Terminály

Terminál, kde bude plyn naložen, musí disponovat zařízením, který daný plyn převede do kapalného skupenství. To je provedeno za pomoci kapalnění při velmi nízkých teplotách – přibližně  $-165^{\circ}\text{C}$ . Tento proces trvá přibližně 20 – 30 hodin v závislosti na vnitřních teplotách tankeru [9][16]. Poté je loď odbavena a může vyplout do cílového přístavu.

Jak již bylo avizováno, plyn bude kvůli aktuální situaci nakupován a převážen z Mexického zálivu. Zde se nachází 4 terminály na zpracování a zkapalnění plynu [8]. Tyto terminály však nejsou pro výlučné použití, export se provádí do celého světa. Tudíž zde může vzniknout fronta tankerů čekajících na doplnění.

V Německu aktuálně probíhá výstavba 2 terminálů [13][3] pro vykládku plynu. Výstavba třetího terminálu byla zrušena [4]. V projektu budeme zkoumat, jaké množství terminálů bude Německo potřebovat pro spolehlivý dovoz potřebného plynu. Terminály mají velmi podobné vlastnosti, proto budou modelovány jako identické jednotky.

V cílovém přístavu je při vykládce nutné se zkapalněným plynem provést opačný proces regasification (znovu zplynování), který trvá obvykle 12 hodin [16].

### 2.1.3 Očekávaný odběr

Podle statistiky v roce 2019 Německo spotřebovalo přibližně 8.6 bilionu kubických stop plynu za den (Bcf/d) [2]. Po přepočtu na rok je to 3060 Bcf/y. Z toho 7% je těženo na území Německa, zbytek je dovážen, a to následovně: 40% z Ruska, 29% z Nizozemí, 21% z Norska a 3% z jiných zdrojů [1].

Po přepočtu je roční podíl Ruského importu 1224 Bcf/y. Pomocí konverze na LNG [10] nám vyjde, že pro pokrytí takového objemu je nutno přepravit 25,7 milionu  $m^3$  zkapalněného plynu ročně.

$$objem = 1224 * 0.021 * 10^6 = 25.704 * 10^6 m^3$$

### 2.1.4 Trasa

Trasa mezi dvěma přístavy činí přibližně 9200 km. Při rychlosti 19 uzlů je tanker schopen tuto trasu zvládnout za 11 dní. Vnější zdroje (počasí, mořské proudy) však mohou tuto dobu obousměrně měnit a je nutno s nimi počítat.

### 3 Koncepce modelu

Model jsme kvůli jeho podstatě zpracovali jako systém hromadné obsluhy [12, s. 136]. Při vytváření jsme vybrali podstatné informace z faktů v sekci 2 (viz. 2), relevantní k našemu modelu. Za relevantní informace pokládáme doby jednotlivých činností aktérů, oddělení jednotlivých procesů [12, s. 121]. Pro simulaci jednotlivých činností jsme zvolili průměrné hodnoty podle vhodných rozpočtů.

#### 3.1 Způsob vyjádření konceptuálního modelu

##### 3.1.1 Generátor německých tankerů

Vstup tankerů do systému je proveden pomocí generátoru, který zajistí vložení tankerů do systému. Vložení počtu tankerů uvedených před inicializací proběhne okamžitě – jsou ihned dostupné. Z toho vyplývá, že první rok provozu modelu bude zkrácen touto inicializační částí, jelikož všechny tankery vyrazí do USA, což jim zabere několik týdnů, než přivezou první dávky plynu LNG.

##### 3.1.2 Generátor externích tankerů

Tento generátor slouží k simulování externího provozu v amerických terminálech. Po dokončení práce s terminálem opouští systém.

##### 3.1.3 Terminály

Terminály na import a export jsme vyjádřili jako zařízení (facility) [12, s. 146].

Každý terminál má svoji vlastní frontu, protože terminály leží fyzicky dále od sebe a přeplování mezi nimi je výrazně neekonomické. Pokud chce být tanker obslužen, zvolí si nejkratší frontu. Obsluha začíná zabráním terminálu. Doba obsluhy trvá podle rovnoměrného rozložení po dobu stanovenou pro vykládku a nakládku (viz 2). Vzhledem k tomu, že terminály USA jsou zatíženy externím provozem, viz podkapitola Generátor externích tankerů, se v terminálech nachází i lodě, které nás po opuštění terminálu dále nezajímají. To je při odchodu z USA terminálu znázorněno přechodem „Odchod externích lodí“, na jehož konci tento proces zaniká.

##### 3.1.4 Tankování

Před každou mezikontinentální cestou musí být tanker natankován. Tankování tedy probíhá po obsluze u terminálu. Jak již bylo zmíněno v kapitole Tanker, neprobíhá tankování celé kapacity, pouze kapacity potřebné na cestu. Po natankování je tanker připraven na cestu.

##### 3.1.5 Poruchy

Do modelu jsme chtěli zahrnout i poruchy tankerů kvůli užšímu propojení s realitou (poruchy jsou v reálném světě běžné a mělo by se s nimi počítat). Bohužel jsme nenašli zdroje vhodné pro tento účel, proto budou poruchy v simulátoru volitelné a jejich pravděpodobnost/četnost bude regulována za pomoci parametrů.

Modelovány jsou poruchy tankeru a terminálu.

Porucha lodi může nastat při cestě mezi kontinenty – v přístavu se loď pohybuje obvykle pomocí obslužných člunů, tudíž je možno tanker přesunovat i s poruchou. V Petriho síti je to konkrétně místo „Vyplovává“, kde se rozhoduje, zda porucha nastane a případně jaká bude její závažnost. Porucha tankeru je rozdělena do dvou kategorií – opravitelná a fatální. Opravitelná porucha lze řešit v průběhu úkolu (po opravě tankeru je možno pokračovat v aktuální misi, například dopravení plynu zpět do Německa) a simulujeme jí čekáním po dobu okolo 20 dní. V případě fatální poruchy loď nemůže pokračovat ve svém úkolu a je ze systému vyřazena. Po vyřazení nastává doba, po kterou se shání náhrada lodí.

Porucha terminálu může nastat v jakémkoliv z terminálů, jak německých, tak amerických. Při nastání poruchy nelze na terminál po určitý časový interval přistupovat. V případě, že porucha nastala v okamžiku, kdy byla v terminálu loď, je tato loď vytažena a vložena přednostně na začátek fronty terminálu. Při opakovaném vstupu po opravě poruchy loď stráví v terminálu zbývající dobu potřebnou k dokončení úlohy, kterou plnila před přerušením.

### 3.2 Forma konceptuálního modelu

Viz model petriho sítě 7.

## 4 Architektura simulačního modelu/simulátoru

Po spuštění simulátoru se program nainicializuje pomocí vstupních parametrů. Poté se nainicializují jednotlivé komponenty simulace a započne simulace. Po dokončení simulace se vypíší statistiky. Ve výpisu je u každého terminálu uvedena statistika o vytíženosti a frontě k danému terminálu. Poté je vypsán histogram ohledně doby potřebné k provedení jednoho životního cyklu lodí. Na závěr jsou vypsány statistiky ohledně dovezeného plynu po rocích a po jednotlivých měsících. Na standardní chybový výstup jsou vypisovány ladící hlášení.

### 4.1 Použité postupy pro vytvoření modelu

Vytváření modelu probíhalo v jazyce C++ s pomocí knihovny SIMLIB [11]. Podklady pro sestavení modelu jsme čerpali z podkladů k předmětu IMS, konkrétně pasáže pro vytváření Petriho sítí [12, s. 123-135].

### 4.2 Původ použitých metod

V programu jsou použity standardní konstrukce jazyka C++ s využitím objektově orientovaného přístupu. Knihovna SIMLIB byla získána v nejnovější verzi (k datu 8.12.2021) z Github repositáře. Pro naše účely jsme využili standardní funkce a rozhraní knihovny.

### 4.3 Mapování konceptuálního modelu do simulačního modelu

Procesy lodí jsou podle jejich typu implementovány v souborech `baseship.cpp`, `ship.cpp` a `externship.cpp`. V souboru `baseship.cpp` se nachází bázeová třída, ze které dědí třídy ve zbývajících dříve zmíněných souborech. Tato implementace byla zvolena kvůli nutnému přetypování při vytažení přerušeného procesu z fronty Q2 v důsledku vzniku poruchy s prioritou obsluhy. V terminálech USA se totiž může vyskytnout jak proces německých lodí, tak i proces externích lodí.

Generátory pro vstup lodí do systému a generátory poruch jsou implementovány v souboru `generators.cpp`.

Pro sběr statistik jsou v souboru `logger.cpp` implementovány události, které periodicky shromažďují data o systému.

Implementace poruch terminálů je provedena v souboru `terminaldefect.cpp` a porucha lodi je implementována přímo v procesu lodi.

Kvůli nutnosti přistupovat k metodám a atributům spojených s frontou Q2 se v souboru `myfacility.cpp` nachází třída, která dědí ze třídy `Facility` a implementuje metody pro získání délky fronty a vytažení prvního procesu z fronty. Tato implementace je nutná, jelikož zmíněné metody a atributy nastaven přístup na `protected`, nelze na ně proto přistupovat přímo.

## **5 Podstata simulačních experimentů a jejich průběh**

Podstatou experimentů je najít optimální konfiguraci systému tak, aby bylo využito co nejméně zdrojů. Podstatná informace je množství dovezeného plynu za rok – měla by korespondovat se stavenou hodnotou cílovou hodnotou a to oběma směry – je špatně, když dovezeme příliš málo, nebo naopak příliš mnoho plynu. Dále pak chceme ověřit stabilitu dovezených zdrojů za kratší časové období.

### **5.1 Postup při experimentování**

Experimentování probíhalo postupným přidáváním vnějších faktorů a zjišťováním, jak tyto faktory působí na celkovou funkčnost modelovaného systému. V druhé části jsme hledali optimální kombinace prvků systému. Doba simulace je nastavena na 5 let s krokem 1 hodina. První rok provozu je zkrácen kvůli inicializaci systému.

## 5.2 Jednotlivé experimenty

### 5.2.1 Počáteční experiment

V tomto experimentu bude uvažována základní konfigurace: 2 německé přístavy, 11 tankerů. Poruchy jsou vypnuty.

Spuštění: `./ims -G 2 -U 4 -s 5 -c 174000 -t 11`

```
imported gas per year:
+-----+
| STATISTIC |
+-----+
| Min = 2.4882e+07      Max = 2.6274e+07 |
| Number of records = 5 |
| Average value = 2.58564e+07 |
+-----+
year|transported (m3)
=====
1|24882000
2|26274000
3|26100000
4|26274000
5|25752000

total transported:129630000
```

Obrázek 1: Počáteční experiment

Z výsledných statistik je patrné, že 11 tankerů poměrně spolehlivě pokryje požadovanou dodávku plynu.

### 5.2.2 Zapnutí poruch

V tomto experimentu bude uvažována stejnou základní konfigurace: 2 německé přístavy, 11 tankerů, tentokrát jsou ale zapnuty poruchy.

Spuštění: `./ims -G 2 -U 4 -s 5 -c 174000 -t 11`

```
imported gas per year:
+-----+
| STATISTIC |
+-----+
| Min = 2.4534e+07      Max = 2.5926e+07 |
| Number of records = 5 |
| Average value = 2.53692e+07 |
+-----+
year|transported (m3)
=====
1|24882000
2|24534000
3|25752000
4|25752000
5|25926000

total transported:127194000
Repairable malfunctions counter: 9
Fatal malfunctions counter: 1
```

Obrázek 2: Zapnutí poruch

Tentokrát však poruchy způsobily pokles dovezeného plynu zhruba o 2%. To znamená, že pro pokrytí požadované kapacity se musí zajistit ještě jeden tanker.



### 5.2.3 Konfigurace německých terminálů

Při zkoumání statistik terminálů bylo zjištěno, že německé terminály jsou využity pouze z malé části - 1. z 45%, 2. z 5% . Vstupní hypotéza tohoto experimentu byla, zda-li by se mohl druhý terminál vyřadit.

FACILITY GE terminal number 1	
Status = not BUSY	
Time interval = 0 - 43800	
Number of requests = 756	
Average utilization = 0.459272	
Input queue 'GE terminal number 1.Q1'	
QUEUE Q1	
Time interval = 0 - 43800	
Incoming 257	
Outcoming 257	
Current length = 0	
Maximal length = 2	
Average length = 0.113353	
Minimal time = 0.0038534	
Maximal time = 372.814	
Average time = 19.3185	
Standard deviation = 34.4419	

(a) 1. terminál

FACILITY GE terminal number 2	
Status = not BUSY	
Time interval = 0 - 43800	
Number of requests = 69	
Average utilization = 0.0567655	
Input queue 'GE terminal number 2.Q1'	
QUEUE Q1	
Time interval = 0 - 43800	
Incoming 11	
Outcoming 11	
Current length = 0	
Maximal length = 1	
Average length = 0.00696338	
Minimal time = 1.65938	
Maximal time = 92.6564	
Average time = 27.7269	

(b) 2. terminál

Obrázek 3: Vytíženost terminálů

V experimentu byly uvažovány poruchy tankerů i terminálů.

Spuštění: ./ims -G 1 -U 4 -s 5 -c 174000 -t 12 -R 0.005 -F 0.0005 -m

imported gas per year:	
STATISTIC	
Min = 2.5752e+07	Max = 2.8014e+07
Number of records = 5	
Average value = 2.7318e+07	
year transported (m3)	
=====	
1 25752000	
2 28014000	
3 26970000	
4 28014000	
5 27840000	
total transported:136764000	
Repairable malfunctions counter: 8	
Fatal malfunctions counter: 2	

(a) Využití pouze jednoho terminálu

FACILITY GE terminal number 1	
Status = BUSY	
Time interval = 0 - 43800	
Number of requests = 779	
Average utilization = 0.474244	
Input queue 'GE terminal number 1.Q1'	
QUEUE Q1	
Time interval = 0 - 43800	
Incoming 345	
Outcoming 345	
Current length = 0	
Maximal length = 8	
Average length = 0.312923	
Minimal time = 0.37409	
Maximal time = 363.043	
Average time = 39.7277	
Standard deviation = 63.1366	

(b) vytíženost terminálu

Obrázek 4: Využití pouze jednoho terminálu

Z výstupní statistiky vyplývá, že využití pouze jednoho terminálu má na efektivitu systému minimální vliv.

## 5.2.4 Použití tankerů s větší kapacitou

V tomto experimentu zvážíme výhodnost použití tankerů s větší kapacitou. V experimentu se budeme soustředit na rovnoměrnost distribuce v rámci jednotlivých měsíců - nerovnoměrnost by mohla vést k dražším vyrovnávacím stanicím s většími kapacitami.

Do experimentu uvažujeme nadměrně velké tankery s kapacitou  $326000m^3$ . Po několika experimentech jsme došli k závěru, že 6 těchto tankerů by mělo pokrýt spotřebu.

Spuštění: `./ims -G 1 -U 4 -s 5 -c 326000 -t 6 -R 0.005 -F 0.0005 -m`

```
imported gas per year:
+-----+
| STATISTIC |
+-----+
| Min = 2.5428e+07      Max = 2.7058e+07 |
| Number of records = 5 |
| Average value = 2.6406e+07 |
+-----+
year|transported (m3)
=====
1|25428000
2|26406000
3|26406000
4|27058000
5|26732000

total transported:132030000
Repairable malfunctions counter: 5
Fatal malfunctions counter: 1
```

Obrázek 5: Tanker s větší kapacitou - statistika dovezeného plynu

Při použití větších tankerů ztrácí systém větší variabilitu - pro splnění požadovaného objemu dovozu jsme museli přepravit více plynu než je potřeba.

```
-----
13:2088000
14:2262000
15:1914000
16:1914000
17:1914000
18:2436000
19:2436000
20:1914000
21:1914000
22:1914000
23:2088000
24:1914000
-----
```

(a) Tankery s kapacitou  $174000m^3$

```
-----
13:2282000
14:2282000
15:1956000
16:2608000
17:1956000
18:1956000
19:1956000
20:2282000
21:2282000
22:2282000
23:2282000
24:1956000
-----
```

(b) Tankery s kapacitou  $326000m^3$

Obrázek 6: Dovezený plyn v jednotlivých měsících - porovnání

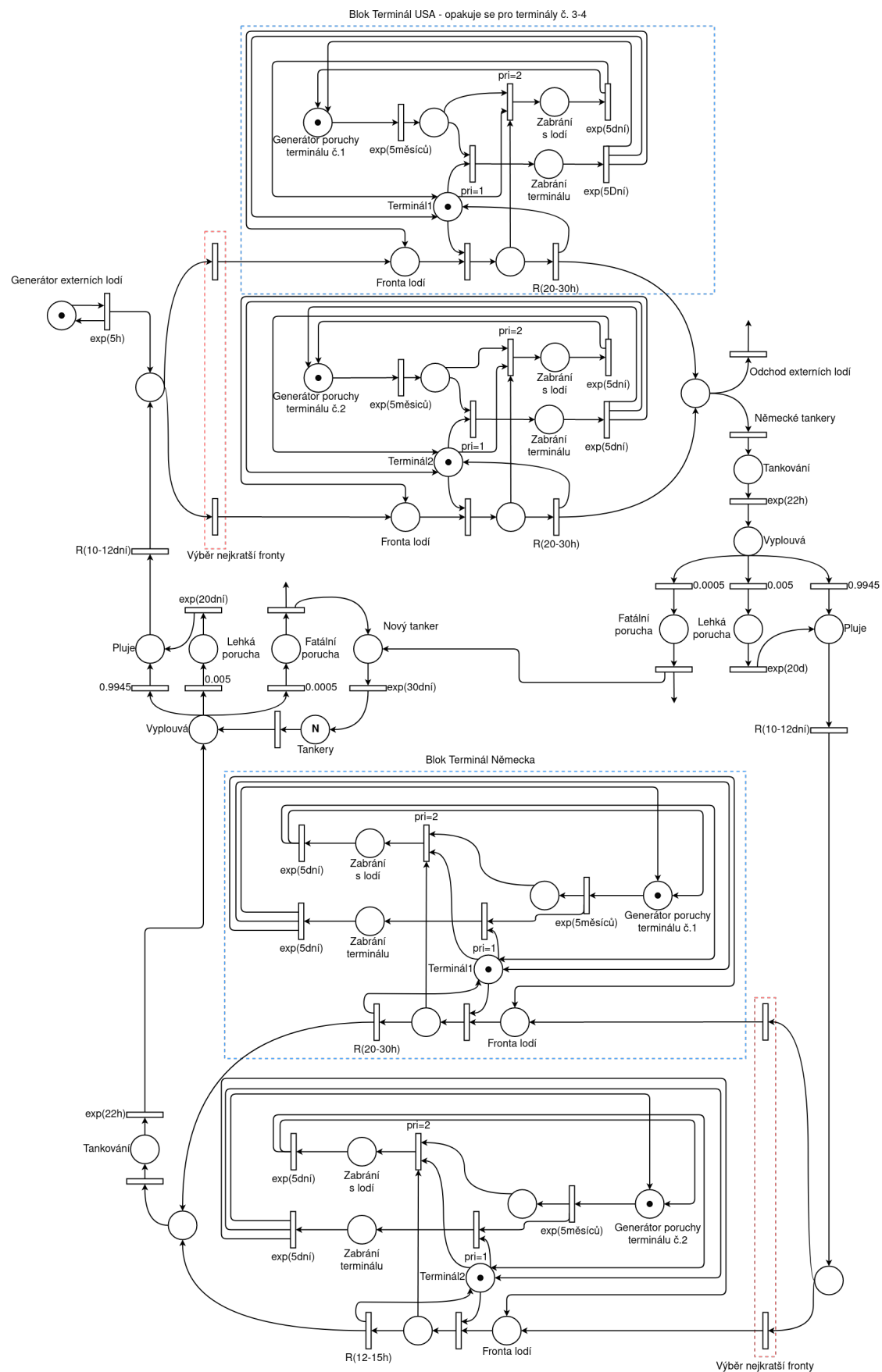
Rovnoměrnost dovozu v rámci jednotlivých měsíců je víceméně podobná ve srovnání s konfigurací z minulých experimentů. Skokové změny jsou způsobeny poruchami.

Použití větších tankerů na přepravu je tedy lepší volba. Pokud však nastane porucha tankeru, může tento fakt silně ovlivnit stabilitu dodávek - u menších kapacit tankerů s větším množstvím plavidel není ztráta tak citelná.

## 6 Shrnutí simulačních experimentů a závěr

V průběhu experimentů bylo zjištěno, že nejvhodnější konfigurace pro transport plynu je použití pouze jednoho importního terminálu v Německu a využití velkých tankerů s kapacitou  $326000m^3$ . Pro pokrytí roční spotřeby 25,7 milionu  $m^3$  zkapalněného plynu je potřeba provozovat 6 těchto tankerů. Těchto 6 tankerů musí dohromady absolvovat 67 cest ročně (přibližně 11 každý). Z toho lze odvodit, že tankery musí dohromady urazit ročně vzdálenost čítající 1232800km a na této trase spálí odhadem 241200 tun paliva [2].

Ruský podíl dovážky plynu tedy lze nahradit pomocí lodní dopravy.



Obrázek 7: Petriho síť

## Odkazy

- [1] *A secure energy supply for Europe*. URL: <https://www.wingas.com/en/raw-material-natural-gas/where-does-europe-get-its-natural-gas.html>. (navštíveno: 6.12.2021).
- [2] *Analysis - Energy Sector Highlights*. URL: <https://www.eia.gov/international/analysis/country/DEU>. (navštíveno: 6.12.2021).
- [3] *Brunsbüttel LNG Terminal*. URL: [https://www.gem.wiki/Brunsb%5C%C3%5C%BCttel\\_LNG\\_Terminal](https://www.gem.wiki/Brunsb%5C%C3%5C%BCttel_LNG_Terminal). (navštíveno: 6.12.2021).
- [4] *Brunsbüttel LNG Terminal*. URL: [https://www.gem.wiki/Wilhelmshaven\\_LNG\\_Terminal](https://www.gem.wiki/Wilhelmshaven_LNG_Terminal). (navštíveno: 6.12.2021).
- [5] *Built Vessels*. URL: <https://gtt.fr/references-partners/built-vessels>. (navštíveno: 6.12.2021).
- [6] *Fuel Consumption by Containership Size and Speed*. URL: <https://transportgeography.org/contents/chapter4/transportation-and-energy/fuel-consumption-containerships/>. (navštíveno: 6.12.2021).
- [7] *HOW DO LNG SHIPS WORK?* URL: <https://www.econnectenergy.com/articles/how-do-lng-ships-work>. (navštíveno: 8.12.2021).
- [8] *List of LNG terminals*. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_LNG\\_terminals#South\\_America](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_LNG_terminals#South_America). (navštíveno: 11.12.2021).
- [9] *Loading a gas tanker takes more than 20 hours*. URL: [https://bsm-highlights.com/issue2\\_2020/that-loading-and-unloading-a-gas-tanker-takes-more-than-20-hours/](https://bsm-highlights.com/issue2_2020/that-loading-and-unloading-a-gas-tanker-takes-more-than-20-hours/). (navštíveno: 6.12.2021).
- [10] *Natural Gas and Coal Measurements and Conversions*. URL: <https://www.extension.iastate.edu/agdm/wholefarm/html/c6-89.html>. (navštíveno: 6.12.2021).
- [11] Petr Peringer, David Leska a David Martinek. *SIMLIB/C++ (SIMulation LIBrary for C++)*. [online]. (navštíveno: 8.12.2021). URL: <http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB>.
- [12] Martin Hrubý Petr Peringer. *Modelování a simulace, Text k přednáškám kursu Modelování a simulace na FIT VUT v Brně*. [online]. (navštíveno: 8.12.2021). URL: <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>.
- [13] *Stade LNG Terminal*. URL: [https://www.gem.wiki/Stade\\_LNG\\_Terminal](https://www.gem.wiki/Stade_LNG_Terminal). (navštíveno: 6.12.2021).
- [14] *This Is How Long It Takes To Fuel A Cruise Ship*. URL: <https://acruisingcouple.com/2020/11/this-is-how-long-it-takes-to-fuel-a-cruise-ship/>. (navštíveno: 8.12.2021).
- [15] *Understanding The Design of Liquefied Gas Carriers*. URL: <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/understanding-design-liquefied-gas-carriers/>. (navštíveno: 6.12.2021).
- [16] *WHAT IS AN LNG TERMINAL ?* URL: <https://www.elengy.com/en/lng/what-is-an-lng-terminal.html>. (navštíveno: 6.12.2021).