

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ



Modelování a simulace

2014/2015

# Plynová krize v Evropě

# Obsah

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Úvod</b>   | <b>3</b>  |
| 1.1      | Autoři a hlavní zdroje informací . . . . .              | 3         |
| 1.1.1    | Autoři . . . . .  | 3         |
| 1.1.2    | Hlavní zdroje informací . . . . .                       | 3         |
| 1.2      | Validace modelu . . . . .                               | 3         |
| 1.3      | Zadání projektu . . . . .                               | 3         |
| 1.4      | Zkoumané scénáře . . . . .                              | 4         |
| <b>2</b> | <b>Rozbor tématu a použitých metod/technologií</b>      | <b>4</b>  |
| 2.1      | Popis použitých metod a technologií . . . . .           | 4         |
| 2.2      | Popis původu použitých metod/technologií . . . . .      | 4         |
| 2.3      | Rozbor tématu . . . . .                                 | 4         |
| 2.3.1    | Import, export, produkce a spotřeba . . . . .           | 5         |
| 2.3.2    | Zásobníky zemního plynu . . . . .                       | 5         |
| 2.3.3    | Přepravní trasy . . . . .                               | 6         |
| 2.3.4    | Lodní terminály na LNG . . . . .                        | 7         |
| <b>3</b> | <b>Koncepce - modelářská témata</b>                     | <b>8</b>  |
| 3.1      | Způsob vyjádření konceptuálního modelu . . . . .        | 8         |
| 3.2      | Formy konceptuálního modelu . . . . .                   | 8         |
| <b>4</b> | <b>Koncepce - implementační témata</b>                  | <b>8</b>  |
| <b>5</b> | <b>Architektura simulačního modelu/simulátoru</b>       | <b>8</b>  |
| 5.1      | Struktury a inicializace . . . . .                      | 8         |
| 5.2      | Vektor transakcí . . . . .                              | 9         |
| 5.3      | Zpracování akcí . . . . .                               | 9         |
| 5.4      | Modelový čas . . . . .                                  | 9         |
| <b>6</b> | <b>Podstata simulačních experimentů a jejich průběh</b> | <b>9</b>  |
| <b>7</b> | <b>Shrnutí simulačních experimentů a závěr</b>          | <b>10</b> |

# 1 Úvod

Tato práce popisuje řešení implementace diskrétního modelu produkce, spotřeby a přepravy plynu v zemích Česká republika, Polsko, Slovensko, Maďarsko a Ukrajina.

Na základě vytvořeného modelu a simulačních experimentů bude ukázána závislost jednotlivých zemí na dovozu zemního plynu z Ruska, užitečnost možného dovážení zkapalněného zemního plynu (*LNG*) z USA a míra připravenosti výše zmiňovaných zemí na možnou plynou krizi.

Smyslem experimentů je demonstrovat odolnost daných států vůči embargu na zemní plyn ze strany Ruska a jejich schopnost udržet normální běh státu v tomto stavu. Dalším smyslem je hledání nového zdroje zemního plynu, kterým by se zmírnila závislost na zemním plynem dováženém z Ruska.

## 1.1 Autoři a hlavní zdroje informací

### 1.1.1 Autoři

- Marek Fiala, xfiala46@stud.fit.vutbr.cz
- Martin Janoušek, xjanou14@stud.fit.vutbr.cz

### 1.1.2 Hlavní zdroje informací

Za hlavní zdroj informací byl použit elektronický sborník Natural Gas Information [2]<sup>1</sup>, který je každoročně vydáván *Mezinárodní energetickou agenturou*<sup>2</sup>. Tento elektronický sborník se zabývá požadavky a zásobami plynu v zemích po celém světě.

Dalším důležitým zdrojem informací byla webová stránka asociace *Gas Infrastructure Europe (GIE)*<sup>3</sup>.

## 1.2 Validace modelu

Ověřování modelu probíhalo experimentování s modelem a to v rámci různých testů. Výsledky těchto testů byly srovnávány s dostupnými informacemi a také s výsledky, které byly dosaženy analytickými metodami. Jako kontrolní informace byla využita studie na téma *Embargo ruského plynu*.<sup>4</sup> Výsledky testů byly také srovnávány napříč mezi sebou, což neověřilo správnost celého modelu, ale shodnosti jednotlivých komponent.

## 1.3 Zadání projektu

Oficiální zadání projektu je k dispozici na stránkách <http://perchta.fit.vutbr.cz:8000/vyuka-ims/34>.

„Navrhněte diskrétní model produkce, spotřeby a přepravy plynu v zemích okolo České republiky (Polsko, ČR, Slovensko, Maďarsko, Ukrajina). Za místa produkce považujte místa aktuálních (a uvažovaných) přístavních terminálů na LNG v Evropě, podzemní zásobníky v daných zemích (včetně jejich kapacity) a Rusko. Každou zemi považujte v modelu za jeden uzel produkce a spotřeby (neuvažují se místní rozvody plynu). Modelujte současnou přepravní síť mezi uzly. Síť dle potřeb rozšiřte o další uzly a země. Navrhněte a zdůvodněte přepravní doby mezi uzly v jednotce množství za hodinu (př. uzel Rusko produkuje do přepravního kanálu na Ukrajinu X množství každou hodinu. Přepravní doba z uzlu Rusko do uzlu Ukrajina je Y hodin.). Zkoumejte dostupnost plynu v uzlech v různých obdobích roku (zimní spotřeba, letní spotřeba) v různých scénářích (zprovoznění terminálu LNG pro dovoz z USA, Ukrajina přeruší transportní cestu, Rusko přestane dodávat apod.).“

---

<sup>1</sup>konkrétně ten vydaný v roce 2014

<sup>2</sup>viz. <http://www.iea.org/>

<sup>3</sup>viz. <http://www.gie.eu.com/>

<sup>4</sup>viz. [http://www.regjeringen.no/upload/OED/pdf%20filer/Brussel/Hoeffler\\_Gas\\_Embargo.pdf](http://www.regjeringen.no/upload/OED/pdf%20filer/Brussel/Hoeffler_Gas_Embargo.pdf)

## 1.4 Zkoumané scénáře

### I. Současná situace

Zkoumání současného stavu včetně dodávek z Ruska. Scénář je vhodný z důvodu následného ověřování modelu.

### II. Zastavení dodávek z Ruska

Zjištění doby, která uplyne od zastavení dodávek z Ruska do vyčerpání zásob u jednotlivých zemí.

### III. Dodávání plynu z USA po celý rok

Simulace stavu, kdy se začne dovážet plyn z USA a Rusko omezí dodávky plynu.

### IV. Dovoz plynu z USA pouze v letním období

Varianta předchozího scénáře s dodávkami plynu z USA pouze v letním období.

### V. Dosatečné zásoby na jeden rok

Zjišťování dostatečné kapacity zásobníků plynu v jednotlivých zemích tak, aby v případě plynové krize vystačily po dobu jednoho roku.

## 2 Rozbor tématu a použitých metod/technologií

### 2.1 Popis použitých metod a technologií

Pro implementaci byl zvolen jazyk C++ a to ve variantě bez knihoven podporujících simulaci. Důvodem tohoto rozhodnutí byla rychlost spustitelného programu a také to, že veškeré události v modelu se vykonávají diskrétně v intervalech po jedné hodině. Modelového času [1, str.21] pro účeli tohoto modelu lze tedy docílit jednoduše vykonáním všech událostí se stejným počátečním časem v jedné iteraci cyklu.

### 2.2 Popis původu použitých metod/technologií

Pro získání přenosové doby plynu mezi jednotlivými zeměmi a přístavními terminály, bylo nutné vypočítat tyto hodnoty z délky jednotlivých plynovodů a rychlosti plynu, který v nich proudí. Stejně tak množství plynu, se kterým se pracuje za dobu jedné hodnoty, bylo nutné vypočítat z hodnot, které jsou udány v množství za hodinu. Všechny vzorce a zdroje jsou uvedeny v kapitole 2.3.

### 2.3 Rozbor tématu

Zemní plyn je přírodní hořlavý plyn využívaný jako významné fosilní palivo. Pro přepravu se používá potrubí (kratší vzdálenosti) a nebo je přepravován loděmi přes moře (velké vzdálenosti).

Pro přepravu přes moře je plyn převeden do formy CNG (stlačený zemní plyn) nebo LNG (zkapalněný zemní plyn) tímto je docíleno zmenšení objemu zemního plynu<sup>5</sup>. V cílovém terminálu přečerpán do zásobníků, postupně je plyn odpařován a dodáván do plynovodního systému.

Práce je zacílena na produkci, spotřebu a přepravu zemního plynu v zemích okolo České republiky (Polsko, ČR, Slovensko, Maďarsko, Ukrajina) a proto bylo nejprve potřeba nalézt tyto hodnoty pro každou z těchto zemí (2.3.1). Důležitou informací byly rovněž kapacity zásobníků v jednotlivých zemích (2.3.2). Další stěžejní informací byla vzdálenost mezi jednotlivými zeměmi a také vlastnosti plynovodů (rychlost toku, délka, maximální propustnost...) mezi místem těžby zemního plynu a jednotlivými zeměmi (2.3.3). Poslední důležitou informací je umístění a kapacita vznikajících terminálů na LNG, které jsou v plánu v těchto zemích postavit případně, které by mohli některou z daných zemí zásobovat (2.3.4).

| Stát            | Import | Export | Produkce | Spotřeba |
|-----------------|--------|--------|----------|----------|
| Česká republika | 8 479  | 8      | 252      | 8 477    |
| Slovensko       | 5 579  | 15     | 124      | 5 820    |
| Maďarsko        | 8 176  | 1 443  | 1 949    | 9 221    |
| Polsko          | 12 473 | 94     | 6 206    | 18 229   |
| Ukrajina        | 27 495 | -      | 20 046   | 51 528   |

Tabulka 1: Import, export produkce a spotřeba jednotlivých zkoumaných zemí za jeden rok.  
Jednotky mcm ( $m^3 * 10^6$ ). Zdroj [2]

### 2.3.1 Import, export, produkce a spotřeba

Tyto hodnoty nebyly vhodné do modelu, jelikož neodpovídali zvolenému modelovému času jedna hodina. Vzhledem k tomuto nedostatku bylo potřeba hodnoty převést na jednotky přepravené za hodinu. Přepočítané hodnoty viz tabulka 2.

| Stát            | Import | Export | Produkce | Spotřeba |
|-----------------|--------|--------|----------|----------|
| Česká republika | 968    | 1      | 29       | 968      |
| Slovensko       | 637    | 2      | 14       | 664      |
| Maďarsko        | 933    | 165    | 222      | 1 053    |
| Polsko          | 1 424  | 11     | 708      | 2 081    |
| Ukrajina        | 3 139  | -      | 2288     | 5 882    |

Tabulka 2: Import, export produkce a spotřeba jednotlivých zkoumaných zemí za jednu hodinu.  
Veškeré hodnoty jsou uvedeny v jednotkách tcm ( $m^3 * 10^3$ )<sup>6</sup>.

Po tomto kroku byly téměř všechny hodnoty připraveny na vložení do modelu. Poslední hodnotou, kterou bylo potřeba modifikovat byla spotřeba a to tak, aby odpovídala spotřebě za letní a za zimní období. Vzhledem ke skutečnosti, že se v primárním zdroji informací tyto hodnoty nenacházely a z jiného zdroje přesně neodpovídaly nalezeným hodnotám z primárního zdroje (viz tabulka 1), byl poměr zimní a letní spotřeby získán z hodnot vypsáných v mapě [4] a posléze aplikován na hodnoty v tabulce 1.

Výsledný poměr a hodnoty jsou vypsány v tabulce 3.

| Stát            | Spotřeba celý rok | Získaný poměr | Spotřeba duben-září | Spotřeba říjen-březen |
|-----------------|-------------------|---------------|---------------------|-----------------------|
| Česká republika | 968               | 28,6 %        | 553                 | 1382                  |
| Slovensko       | 664               | 29,0 %        | 385                 | 942                   |
| Maďarsko        | 1 053             | 27,5 %        | 578                 | 1526                  |
| Polsko          | 2 081             | 39,4 %        | 1637                | 2524                  |
| Ukrajina        | 5 882             | 27,5 %        | 3229                | 8535                  |

Tabulka 3: Průměrná spotřeba jednotlivých zemí za jeden rok, za letní a zimní období za rok.  
Veškeré hodnoty jsou uvedeny v jednotkách tcm ( $m^3 * 10^3$ ).

### 2.3.2 Zásobníky zemního plynu

Hodnoty jsou opět získány z [2], rovněž zajímavým zdrojem je stránka <http://transparency.gie.eu/> kde jsou každý den aktualizovány statistiky zásobníků (zaplnění, odběr, kapacita,...)

<sup>5</sup>V případě LNG cca 600x

<sup>6</sup>Převod z hodnot uvedených v tabulce výše tabulce. Převod: původní hodnota/365/24.

| Stát            | Celková kapacita zásobníků |
|-----------------|----------------------------|
| Česká republika | 3 497                      |
| Slovensko       | 3 155                      |
| Maďarsko        | 6 330                      |
| Polsko          | 2 474                      |
| Ukrajina        | 31 950                     |

Tabulka 4: Maximální kapacity zásobníků v jednotlivých zemích.  
Veškeré hodnoty jsou uvedeny v jednotkách mcm ( $m^3 * 10^6$ ).

### 2.3.3 Přepavní trasy

Jako přepravní síť plynu z místa těžby do místa spotřeby byly zvoleny existující plynovody, které jsou vypsány v tabulce 5. Vzhledem k abstrakci jednotlivých států na jeden uzel produkce a spotřeby a neuvazování místních rozvodů plynu byla pro účely modelu použita vzdálenost hlavních měst zkoumaných států (viz tabulka 6).

| Název                     | Začátek (místo těžby)   | Konec (cílové státy) | Vzdálenost |
|---------------------------|-------------------------|----------------------|------------|
| Jamal                     | poloostrov Jamal, Rusko | Polsko               | 3177 km    |
| North stream <sup>7</sup> | poloostrov Jamal, Rusko | Německo              | 4341 km    |
| Europipe I.               | Severní moře, Norsko    | Německo              | 642 km     |
| Soyuz                     | poloostrov Jamal, Rusko | Ukrajina             | 3640 km    |
|                           |                         | Slovensko            | 4500 km    |
| Soyuz                     | Atyrau, Kazachstán      | Ukrajina             | 3000 km    |

Tabulka 5: Délka uvažovaných plynovodů.

| Stát      | Česko | Slovensko | Maďarsko | Polsko | Ukrajina |
|-----------|-------|-----------|----------|--------|----------|
| Česko     | 0     | 290 km    | 445      | 520    | 1150     |
| Slovensko | 290   | 0         | 160      | 540    | 1010     |
| Maďarsko  | 445   | 160       | 0        | 545    | 900      |
| Polsko    | 520   | 540       | 545      | 0      | 695      |
| Ukrajina  | 1150  | 1010      | 900      | 695    | 0        |

Tabulka 6: Vzdálenosti hlavních měst států.

Veškeré hodnoty jsou uvedeny v jednotkách km.

Hodnoty změřené za pomoci webové stránky *Mapy.cz*<sup>8</sup>

Přepavní rychlost zemního plynu byla zvolena hodnota 20 m/s získaná ze zdroje [5]. Tato hodnota je v uvedeném zdroji označena jako doporučená proto, že se jedná o nejvyšší rychlost toku zemního plynu, která nezvyšuje riziko koroze na potrubí v němž je zemní plyn přepravován. V modelu je tato rychlost převedena na km/h, tedy na **72 km/h**, a je použita pro odhadované zpoždění plynu z místa těžby na místa spotřeby.

Hodnoty získané kombinací hodnot z tabulky 5 a výše zmiňované doporučené rychlosti 72 km/h lze získat přepravní čas zemního plynu pro jednotlivé plynovody (viz tabulka 7).

Obdobně lze získat přepravní čas mezi uzly reprezentujícími jednotlivé země. V tomto případě jsou použity hodnoty z tabulky 6. Výsledné hodnoty jsou vypsány v tabulce 8.

<sup>7</sup>Název North stream je označení pouze pro plynovod vedoucí po dně Baltského moře jehož délka je 1 224 km, ale pro účely práce bylo vhodnější k délce North streamu přičíst délku plynovodu vedoucího do místa těžby, který North stream zásobuje.

<sup>8</sup><http://www.mapy.cz/>

| Název        | Začátek (místo těžby)   | Konec (cílové státy) | Doba přepravy |
|--------------|-------------------------|----------------------|---------------|
| Yamal        | poloostrov Jamal, Rusko | Polsko               | 47 hodin      |
| North stream | poloostrov Jamal, Rusko | Německo              | 60 hodin      |
| Europipe I.  | Severní moře, Norsko    | Německo              | 9 hodin       |
| Soyuz        | poloostrov Jamal, Rusko | Ukrajina             | 51 hodin      |
|              |                         | Slovensko            | 74 hodin      |
| Soyuz        | Atyrau, Kazachstán      | Ukrajina             | 42 hodin      |

Tabulka 7: Čas potřebný k překonání uvažovaných plynovodů.

| Stát      | Česko | Slovensko | Maďarsko | Polsko | Ukrajina |
|-----------|-------|-----------|----------|--------|----------|
| Česko     | 0     | 4         | 6        | 7      | 16       |
| Slovensko | 4     | 0         | 2        | 8      | 14       |
| Maďarsko  | 6     | 2         | 0        | 8      | 13       |
| Polsko    | 7     | 8         | 8        | 0      | 10       |
| Ukrajina  | 16    | 14        | 13       | 10     | 0        |

Tabulka 8: Čas potřebný k překonání Vzdálenosti hlavních měst států.  
Veškeré hodnoty jsou uvedeny v jednotkách hodina.

#### 2.3.4 Lodní terminály na LNG

Jedním z důvodů vzniku celé této práce je simulace možnosti převozu zkapalněného zemního plynu do Evropy z USA. Za tímto účelem bylo třeba nalézt plánované lodní terminály, které by byly vhodné pro přepravu LNG do zemí zkoumaných v těchto experimentech (Polsko, ČR, Slovensko, Maďarsko, Ukrajina).

Kritéria pro výběr nejvhodnějších lodních terminálů byla existence potrubní sítě s dostačující přepravní kapacitou, dále také vzdálenost od místa spotřeby a v neposlední řadě také plánovaný roční odběr.

Z těchto kritérií nejvíce vyhovují terminály vypsane v tabulce 9.

| Stát       | Místo       | Kapacita               | Očekávaná kapacita ročního odběru    | Rok dokončení |
|------------|-------------|------------------------|--------------------------------------|---------------|
| Polsko     | Swinouscije | 320 000 m <sup>3</sup> | 7,5 m <sup>3</sup> * 10 <sup>9</sup> | 2014          |
| Chorvatsko | Krk         | 250,000 m <sup>3</sup> | 10 m <sup>3</sup> * 10 <sup>9</sup>  | 2017          |
| Ukrajina   | Odessa      | 540 000 m <sup>3</sup> | 10 m <sup>3</sup> * 10 <sup>9</sup>  | 2018          |

Tabulka 9: Terminály LNG, které nejlépe odpovídají kritériům.

Zdroje [6],[7] a [8]

Současná síť plynovodů mezi zkoumanými státy je schopná pojmout navýšení kapacity<sup>9</sup> přepravy plynu v důsledku zprovoznění přístavních terminálů na LNG a tudíž je pro potřeby modelu dostačující, ale vzhledem k narůstající spotřebě zemního plynu by bylo z dlouhodobého hlediska vhodné přepravní síť rozšířit.

Pro účely modelu bylo potřeba dodat informaci o možnosti dopravy zemního plynu z terminálu na ostrově Krk (ostatní zvolené terminály leží v modelovaných zemích). Přepravní trasa byla vybrána k nejbližší zemi tedy Maďarsku a to ze vzdáleností 440 km<sup>10</sup> a přepravním zpožděním 6 hodin.

<sup>9</sup>Kapacity možno vyčíst z [http://www.entsog.eu/public/uploads/files/maps/transmissioncapacity/2014/ENTSOG\\_140612\\_CAP\\_JUNE2014.pdf](http://www.entsog.eu/public/uploads/files/maps/transmissioncapacity/2014/ENTSOG_140612_CAP_JUNE2014.pdf) a průtok například z interaktivní mapky <http://www.iea.org/gtf/index.asp>.

<sup>10</sup>Hodnota změřená za pomoci webové stránky *Mapy.cz* [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz)

## 3 Koncepce - modelářská témata

Model rozvodů plynu po modelované zemi, vychází z informací, které jsou uvedeny v 2.3. Jako místa spotřeby byly zvoleny hlavní města jednotlivých zemí (viz. 2.3.3) a přepravní trasy byly modelovány pomocí údajů délky a přepravní doby (zanedbána poloha a tvar).

Po spuštění aplikace trvá určitou dobu<sup>11</sup> než se plyn dostane k místu spotřeby. Tento fakt může být zanedbán, jelíž neovlivní výsledky navržených scénářů. (Pokud by byla potřeba tuto skutečnost zanedbávat, docílilo by se toho například zvýšením počátečních zásob zemí o hodnotu, která se spotřebuje, než dojde první dodávka plynu.)

### 3.1 Způsob vyjádření konceptuálního modelu

kapitola 3.1: Způsob vyjádření konceptuálního modelu musí být zdůvodněn (na obrázku xxx je uvedeno schéma systému, v rovnicích  $xx-yy$  jsou popsány vazby mezi ..., způsob synchronizace procesů je na obrázku xxx s Petriho sítí).

### 3.2 Formy konceptuálního modelu

kapitola 3.2: Formy konceptuálního modelu (důraz je kladen na srozumitelnost sdělení). Podle potřeby uveďte konkrétní relevantní: obrázek/náčrt/schéma/mapa (možno čitelně rukou) matematické rovnice - u některých témat (např. se spojitými prvky, optimalizace, ...) naprosto nezbytné. Dobré je chápat, že veličiny (fyzikální, technické, ekonomické) mají jednotky, bez kterých údaj nedává smysl. stavový diagram (konečný automat) nebo Petriho síť - spíše na abstraktní úrovni. Petriho síť nemá zobrazovat výpočty a přílišné detaily. Pokud se pohodlně nevejde na obrazovku, je nepoužitelná. Možno rozdělit na bloky se zajímavými detaily a prezentovat odděleně abstraktní celek a podrobně specifikované bloky (hierarchický přístup).

## 4 Koncepce - implementační témata

Popište abstraktně architekturu vašeho programu, princip jeho činnosti, významné datové struktury a podobně. Smyslem této kapitoly je podat informaci o programu bez použití názvů tříd, funkcí a podobně. Tuto kapitolu by měl pochopit každý technik i bez informatického vzdělání. Vyjadřovacími prostředky jsou vývojové diagramy, schémata, vzorce, algoritmy v pseudokódu a podobně. Musí zde být vysvětlena nosná myšlenka vašeho přístupu.

## 5 Architektura simulačního modelu/simulátoru

Vzhledem k jednoduchosti modelu a použití disktrétního času byla vybrána koncepce, kdy jádro programu tvoří cyklus `while`, ve kterém se vykonávají akce transportu, spotřeby, exportu a importu. Odlišnost v jednotlivých typech simulací je ve funkcích použitých pro inicializaci struktur, které reprezentují jednotlivé prvky modelovaného systému.

### 5.1 Struktury a inicializace

Jednotlivé struktury se liší svými parametry. Například struktura reprezentující terminál obsahuje položky pro reprezentaci cílového uzlu v síti, množství přenášeného plynu a dobu přenosu. Oproti tomu struktura reprezentující transport obsahuje navíc ještě položku reprezentující zdroj. Struktura určená pro reprezentaci států (míst spotřeby), pak obsahuje položky pro velikost zásobníku, zásobu plynu, spotřebu a podobně.

---

<sup>11</sup>Doba přepravy mezi místem produkce a jednotlivou zemí



## 5.2 Vektor transakcí

Protože není využito simlačních knihoven, dochází k absenci kalendáře událostí. Přesto, že jsou zpracovávány události po každé hodině modelového času, bylo nutné implementovat způsob zpracování událostí v určitém čase. Pro tyto účely byl vytvořen **vektor transakcí**, do něhož jsou ukládány události, které se mají vykonat až po určitém čase. Tyto události se týkají přenosu zemního plynu. Nejprve je potřeba plyn odečíst ze zásob odesílající země a až po nějakém čase mají být uloženy do zásobníku v cílové zemi.

Obsah vektoru tvoří struktury s položkami reprezentujícími cílovou zemi, čas přenosu a množství zemního plynu, které je přenášeno. Tento vektor je po každé hodině modelového času procházen a časy u jednotlivých záznamů jsou dekrementovány. Pokud čas dosáhne hodnoty 0, je tato transakce dokončena<sup>12</sup>.

## 5.3 Zpracování akcí

Zpracování akcí se dá rozčlenit do několika částí, které se opakují. Nejprve se vloží informace o importu plynu od přístavních terminálů do vektoru transakcí, poté se spotřebuje plyn a exportuje se do zemí mimo modelovaný systém. Pak se vloží do vektoru transakcí informace o přesunu plynu mezi jednotlivými zeměmi a odečte se dané množství od zásob zdrojové země. Na závěr se provede průchod vektorem transakcí a transakce, jež mají být provedeny v aktuálním čase se provedou<sup>13</sup>.

## 5.4 Modelový čas

Modelový čas byl zvolen jedna hodina a tato jedna hodina odpovídá jedné iteraci hlavního cyklu while.

Aby model odpovídal reálnému světu, bylo potřeba zanést střídání letního a zimního období<sup>14</sup>. Důvodem tohoto požadavku byla značná rozdílnost ve spotřebě zemního plynu jednotlivých míst spotřeby v různých obdobích (v letním období menší spotřeba, v zimním větší). Změny období bylo docíleno pomocí počítadla cyklů, jehož hodnota se v každé iteraci porovnává s aktuální hodnotou značící začátek nového období, pokud jsou hodnoty totožné je hodnota značící začátek nového období navýšena o hodnotu 182<sup>15</sup> a spotřeba jednotlivých států je přepnuta na hodnotu odpovídající danému období. Inicializační hodnota hodnoty značící začátek nového období je 90<sup>16</sup> a tímto je docíleno, že modelový čas odpovídá svým začátkem pomyslnému začátku roku reálného světa.

# 6 Podstata simulačních experimentů a jejich průběh

Nezaměňujte pojmy testování a experimentování (důvod pro bodovou ztrátu)!!! Zopakovat/shrnout co přesně chcete zjistit experimentováním a proč k tomu potřebujete model. Pokud experimentování nemá cíl, je celý projekt špatně. Je celkem přípustné u experimentu odhalit chybu v modelu, kterou na základě experimentu opravíte. Pokud se v některém experimentu nechová model podle očekávání, je nutné tento experiment důkladně prověřit a chování modelu zdůvodnit (je to součást simulačnické profese). Pokud model pro některé vstupy nemá důvěryhodné výsledky, je nutné to zdokumentovat. Pochopitelně model musí mít důvěryhodné výsledky pro většinu myslitelných vstupů. kapitola 5.1: Naznačit postup experimentování – jakým způsobem hodláte prostřednictvím experimentů dojít ke svému cíli (v některých situacích je přípustné "to zkoušet tak dlouho až to vyjde", ale i ty musí mít nějaký organizovaný postup). kapitola 5.2: Dokumentace jednotlivých experimentů - souhrn vstupních podmínek a podmínek běhu simulace, komentovaný výpis výsledků, závěr experimentu a plán pro další experiment (např. v experimentu 341. jsem nastavil vstup x na hodnotu X, která je typická pro ... a vstup y na Y, protože chci zjistit chování systému v prostředí ... Po skončení běhu simulace byly získány tyto výsledky ..., kde je nejzajímavější hodnota sledovaných veličin a,b,c které se chovaly podle předpokladu a veličin d,e,f které ne. Lze z toho usoudit, že v modelu není správně implementováno chování v podmínkách ... a proto v následujících experimentech budu vycházet z modifikovaného modelu verze

<sup>12</sup>Plyn je uložen v zásobníku cílové stanice a záznam je z vektoru transakcí odstraněn

<sup>13</sup>funkce `transakceCheck()`

<sup>14</sup>letní období duben-září, zimní období říjen-březen

<sup>15</sup>hodnota 182 značí půlku jednoho roku

<sup>16</sup>90 den odpovídá počátku dubna - počátku letního období

... Nebo výsledky ukazují, že systém v těchto podmínkách vykazuje značnou citlivost na parametr  $x$  ... a proto bude dobré v dalších experimentech přesně prověřit chování systému na parametr  $x$  v intervalu hodnot ... až ...) kapitola 5.3: Závěry experimentů – bylo provedeno  $N$  experimentů v těchto situacích ... V průběhu experimentování byla odstraněna ... chyba v modelu. Z experimentů lze odvodit chování systémů s dostatečnou věrohodností a experimentální prověřování těchto ... situací již nepřinese další výsledky, neboť ...

## 7 Shrnutí simulačních experimentů a závěr

Závěrem dokumentace se rozumí zhodnocení simulační studie a zhodnocení experimentů (např. Z výsledků experimentů vyplývá, že ... při předpokladu, že ... Validita modelu byla ověřena ... V rámci projektu vznikl nástroj ..., který vychází z ... a byl implementován v ...). do závěru se nehodí psát poznámky osobního charakteru (např. práce na projektu mě bavila/nebavila, ...). Technická zpráva není osobní příběh autora. absolutně nikoho nezajímá, kolik úsilí jste projektu věnovali, důležitá je pouze kvalita zpracování simulátoru/modelu a obsažnost simulační studie (rozhodně ne např.: projekt jsem dělal ... hodin, což je víc než zadání předpokládalo. Program má ... řádků kódu). Pokud zdůrazňujete, že jste práci dělali významně déle než se čekalo, pak tím pouze demonstujete vlastní neschopnost (to platí zejména v profesním životě). do závěru se velmi nehodí psát "auto-zhodnocení" kvality práce, to je výhradně na recenzentovi/hodnotiteli (např. v projektu jsem zcela splnil zadání a domnívám se, že můj model je bezchybný a výsledky taktéž). Statisticky častý je pravý opak autorova auto-zhodnocení. Pokud přesto chcete vyzdvihnout kvalitu svého díla (což je dobře), tak vaše výroky musí být naprosto nepopíratelně zdůvodněny a prokázány (např. pomocí jiného referenčního přístupu, matematického důkazu, analýzy, ...).

## Literatura a použité zdroje

- [1] P. Peringer: přednášky předmětu Modelování a simulace <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/pr>
- [2] IEA natural gas information [online]. [cit. 2014-12-03]. ISBN 1683-4267. Dostupné z: [http://www.oecd-ilibrary.org/energy/natural-gas-information\\_16834267](http://www.oecd-ilibrary.org/energy/natural-gas-information_16834267)
- [3] Gas Infrastructure Europe [online]. [cit. 2014-12-03]. Dostupné z: <http://www.gie.eu.com/>
- [4] [http://www.gie.eu.com/download/maps/ENTSO-GIE\\_SYSDEV\\_MAP2013.pdf](http://www.gie.eu.com/download/maps/ENTSO-GIE_SYSDEV_MAP2013.pdf)
- [5] Natural gas engineering and safety challenges. pages cm. ISBN 978-331-9089-478.
- [6] Gas LNG Europe. [online]. [cit. 2014-12-07]. Dostupné z: [http://www.gie.eu/download/maps/2014/GLE\\_LNG\\_JUNE2014.pdf](http://www.gie.eu/download/maps/2014/GLE_LNG_JUNE2014.pdf)
- [7] O PROJEKTU. ADRIA LNG [online]. [cit. 2014-12-07]. Dostupné z: <http://www.adria-lng.hr/index.php?f=&m=2&s=0>
- [8] Ukraine LNG Terminal, Ukraine. [online]. [cit. 2014-12-07]. Dostupné z: <http://www.hydrocarbons-technology.com/projects/ukraine-lng-terminal/>