

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>5</b>
2.1	Popis použitých metod a technologií . . . . .	5
2.2	Popis původu použitých metod/technologií . . . . .	5
2.3	Rozbor tématu . . . . .	5
2.3.1	Import, export, produkce a spotřeba . . . . .	5
2.3.2	Zásobníky zemního plynu . . . . .	7
2.3.3	Přepravní trasy . . . . .	7
2.3.4	Lodní terminály na LNG . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Koncepce - modelářská témata</b>	<b>10</b>
3.1	Způsob vyjádření konceptuálního modelu . . . . .	10
3.2	Formy konceptuálního modelu . . . . .	10
<b>4</b>	<b>Koncepce - implementační témata</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Architektura simulačního modelu/simulátoru</b>	<b>11</b>
5.1	Struktury a inicializace . . . . .	11
5.2	Vektor transakcí . . . . .	11
5.3	Zpracování akcí . . . . .	11
5.4	Modelový čas . . . . .	11
<b>6</b>	<b>Podstata simulačních experimentů a jejich průběh</b>	<b>12</b>
6.1	Postup experimentování . . . . .	12
6.2	Jednotlivé experimenty . . . . .	12
<b>7</b>	<b>Shrnutí simulačních experimentů a závěr</b>	<b>12</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 experimentováním 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. [www.iea.org](http://www.iea.org)

<sup>3</sup>viz. [www.gie.eu.com](http://www.gie.eu.com)

<sup>4</sup>Dostupné na [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. Dostatečné 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 hodiny, 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).

#### 2.3.1 Import, export, produkce a spotřeba

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]. Hodnoty z roku 2013.

---

<sup>5</sup>V případě LNG cca 600x

Stát	Celkem	Rusko	Norsko	Německo	Česko	Maďarsko	Kazachstán
Česká republika	8 479	8 475	4				
Slovensko	5 579	5 509					
Maďarsko	8 176	8 176					
Polsko	12 473	9 615		2 267	584		
Ukrajina	27 495	25 840				1108	547

Tabulka 2: Import podle zemí původu zemního plynu pro jednotlivé zkoumané země za jeden rok. Jednotky mcm ( $m^3 * 10^6$ ). Zdroj [2]. Hodnoty z roku 2013.

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 pro tabulku 1 jsou vypsány v tabulce 3 a přepočítané hodnoty pro tabulku 2 jsou uvedeny v tabulce 4.

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 3: 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>.

Stát	Celkem	Rusko	Norsko	Německo	Česko	Maďarsko	Kazachstán
Česká republika	968	967	1				
Slovensko	637	629					
Maďarsko	933	933					
Polsko	1 424	1 097		259	67		
Ukrajina	3 139	2 949				126	62

Tabulka 4: Import podle zemí původu zemního plynu pro jednotlivé zkoumané země za jednu hodinu. Jednotky tcm ( $m^3 * 10^3$ ).

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 5.

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

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 5: 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

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

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

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,...)

### 2.3.3 Přepavní trasy

Jako přepravní síť plynu z místa těžby do místa spotřeby byly zvoleny existující plynovody, které jsou vypsány v tabulce 7. Vzhledem k abstrakci jednotlivých států na jeden uzel produkce a spotřeby a neuvážování místních rozvodů plynu byla pro účely modelu použita vzdálenost hlavních měst zkoumaných států (viz tabulka 8).

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 7: Délka uvažovaných plynovodů.

Přepavní rychlost zemního plynu byla zvolena hodnota 20 m/s získaná ze zdroje [5]. Tato hodnota je v uvedeném zdroji označena jako doporučená, protože 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.

<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>[www.mapy.cz](http://www.mapy.cz)

Stát	Česko	Slovensko	Maďarsko	Polsko	Ukrajina
Česko	0	290	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 8: Vzdálenosti hlavních měst států.

Veškeré hodnoty jsou uvedeny v jednotkách km.

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

Hodnoty získané kombinací hodnot z tabulky 7 a výše zmiňované doporučené rychlosti 72 km/h lze získat přepravní čas zemního plynu pro jednotlivé plynovody (viz tabulka 9).

Obdobně lze získat přepravní čas mezi uzly reprezentujícími jednotlivé země. V tomto případě jsou použity hodnoty z tabulky 8. Výsledné hodnoty jsou vypsány v tabulce 10.

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 9: 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 10: 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 vypsány v tabulce 11.

Stát	Místo	Kapacita	Očekávaná kapacita ročního odběru	Rok dokončení
Polsko	Swinouscije	320 000 $m^3$	$7,5 m^3 * 10^9$	2014
Chorvatsko	Krk	250,000 $m^3$	$10 m^3 * 10^9$	2017
Ukrajina	Odessa	540 000 $m^3$	$10 m^3 * 10^9$	2018

Tabulka 11: 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 [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 [www.iea.org/gtf/index.asp](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

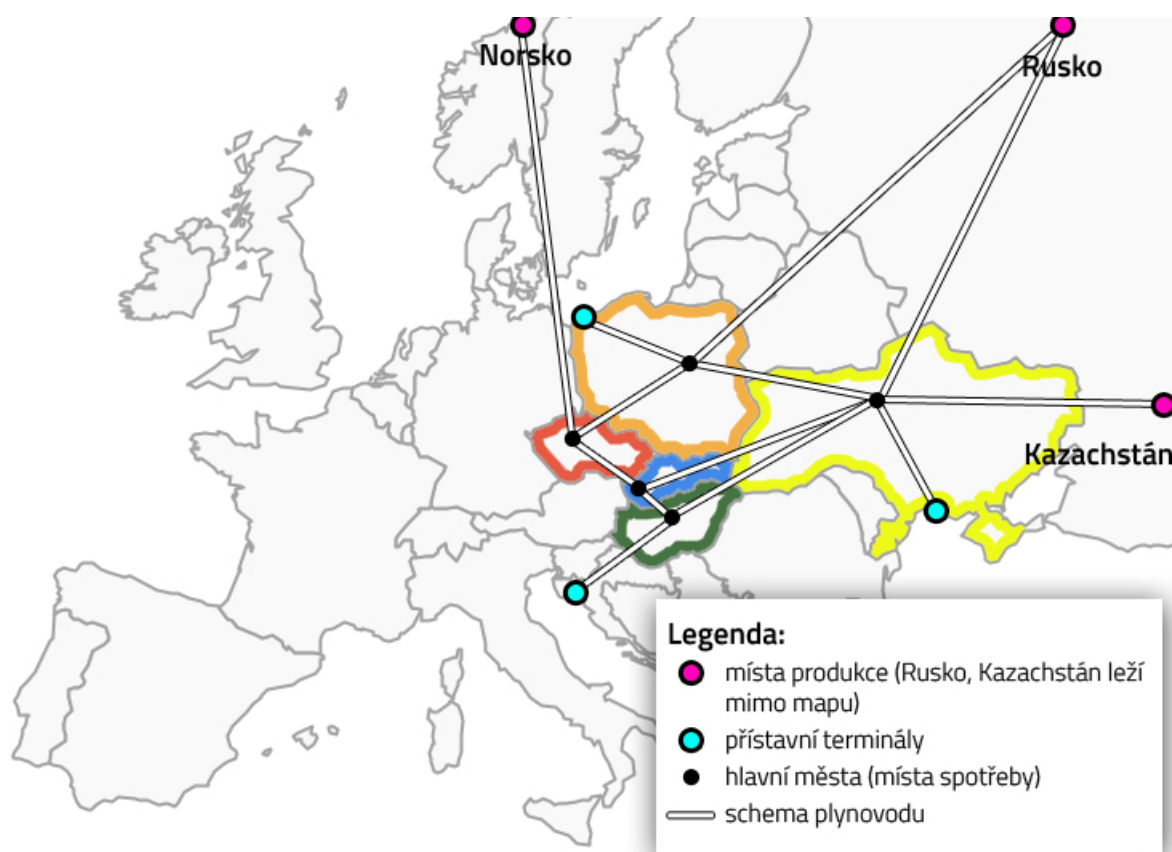
#### 3.1 Způsob vyjádření konceptuálního modelu

Model rozvodů plynu po modelované země, vychází z informací, které jsou uvedeny v 2.3. Jako místa spotřeby byly zvoleny hlavní města jednotlivých zemí (viz. 2.3.1) a přepravní trasy byly modelovány pomocí údajů délky a přepravní doby, poloha i tvar přepravní sítě byla zanedbána (více informací v kapitole 2.3.3). Abstraktní schéma systému je možné nalézt na obrázku 1.

#### 3.2 Formy konceptuálního modelu

Každý stát v modelu je popsán jedním uzlem, který reprezentuje produkci, spotřebu, import a export daného státu. Uzly států jsou doplněny propojí symbolizujícími existující plynovodní sítí. Pomocí propojů jsou uzly států spojeny s místy těžby a také jednotlivě mezi sebou (pokud mezi danými dvěma státy nějaký reálný spoj existuje). Mezi dvěma uzly států je v jednom směru vždy jeden spoj, který odpovídá svojí kapacitou celkové kapacitě přepravy mezi danými zeměmi.

Na obrázku 1 se nachází abstraktní schéma systému, na kterém jsou vyobrazeny orientačně jednotlivé uzly států a propoje mezi nimi (propoje neodpovídají reálnému umístění plynovodů).



Obrázek 1: Abstraktní schéma systému.

V modelu dochází k zahájení zásobování jednotlivých zemí až po určité době běhu programu<sup>11</sup>. Důvodem je zpoždění vyvolané prvotní přepravou plynu z místa produkce do místa spotřeby. Tento fakt může být zanedbán, jelikož neovlivní výsledky navržených scénářů<sup>12</sup>.

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

<sup>12</sup>Pokud by byla potřeba tuto skutečnost nezanedbávat, docílilo by se toho například zvýšením počátečních zásob zemí o hodnotu, která se spotřebuje, než dojde první dodávka plynu.

## 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[1, str.22] 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 maximální velikost zásobníku, aktuální stav plny, spotřebu a produkci.

### 5.2 Vektor transakcí

Vzhledem k tomu, že není využito simlačních knihoven, dochází k absenci kalendáře událostí. Přestože 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, spotřeby a produkce 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>13</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. Následovně 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>14</sup>.

### 5.4 Přeposílání přebytků

Zajímavá část simulátoru se týká přeposílání přebytků ve funkci `transakceProved()`. U každého státu může nastat situace, kdy má plný zásobník a přijde mu dodávka plynu. Tato dodávka se nemůže nikam ztratit a ani uložit do zásobníku. Implementačně byl tento problém vyřešen zkontrolováním stavů zásobníků ostatních zemí a případné transakci do země s nejnižším množstvím plynu v zásobníku. Tento postup simuluje jakýsi obchod s plynem mezi zeměmi.

<sup>13</sup>Plyn je uložen v zásobníku cílové stanice a záznam je z vektoru transakcí odstraněn

<sup>14</sup>funkce `transakceCheck()`

## 5.5 Modelový čas

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

Aby model odpovídal reálnému světu, bylo do něj potřeba zanést střídání letního a zimního období<sup>15</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>16</sup> a spotřeba jednotlivých států je přepnuta na hodnotu odpovídající danému období.

Inicializační hodnota hodnoty značící začátek nového období je 90<sup>17</sup> a tímto je docíleno, že modelový čas odpovídá svým začátkem pomyslnému začátku roku reálného světa.

## 5.6 Tisk výsledku simulace

Pro uchování základních informací o dané zemi, jako je například počáteční stav zásobníku, případný čas vyčerpání zásob a podobně, je vytvořeno pole struktur `sStatistika`. Tyto struktury jsou následně upravovány v průběhu simulace v závislosti na určitých akcích<sup>18</sup>.

# 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.

## 6.1 Postup experimentování

kapitola 5.1: Naznačit postup experimentování – jakým způsobem hodláte prostřednictvím experimentů dojít ke svému cíli (v některých situacích je přípustné "to zkusit tak dlouho až to vyjde", ale i ty musí mít nějaký organizovaný postup).

## 6.2 Jednotlivé experimenty

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 ... 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 ...

<sup>15</sup>letní období duben až září, zimní období říjen až březen

<sup>16</sup>hodnota 182 značí půlku jednoho roku

<sup>17</sup>90 den odpovídá počátku dubna - počátku letního období

<sup>18</sup>Vyčerpání zásob plynu a pod.

## 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 demonstrujete 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/ENTSOG-GIE\\_SYSDEV\\_MAP2013.pdf](http://www.gie.eu.com/download/maps/ENTSOG-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/>