



Modelování a simulace
Energetika. Zdroje a suroviny.
Zemný plyn
Tým: Sue Origin

12. decembra 2021

Šimon Feňko (xfenko01)
Andrej Hýroš (xhyros00)

Obsah

1	Úvod	2
1.1	Autori, zdroje	2
1.2	Overovanie validity	2
2	Rozbor tématu a použitých metód/technológií	2
2.1	Popis použitých nástrojov	2
2.2	Popis pôvodu použitých technológií	2
3	Koncepcia modelu	3
3.1	Vyjadrenie modelu	3
3.2	Rátanie neznámych parametrov	3
3.3	Implementácia regresného modelu	4
4	Architektúra simulačného modelu/simulátoru	4
4.1	Dáta	4
4.2	Mapovanie abstraktného modelu do simulačného modelu	4
5	Podstata simulačných experimentov a ich priebeh	4
5.1	Použitie simulátora	4
5.2	Experiment č.1	5
5.3	Experiment č.2	5
6	Záver	6
7	Prílohy	7

1 Úvod

V tejto práci je validovaný model[8, s. 37] dopytu po zemnom plyne v rozvojových krajinách navrhnutý výskumníkmi Zia Wadud, Himadri S. Dey [15]. Pre validovanie modelu, sme si vybrali krajinu Bangladéš ako ukázkový príklad. Zemný plyn je v Bangladéši hlavným domácim zdrojom energie a predstavuje takmer polovicu všetkej primárnej spotrebovanej energie. Výroba elektriny je tam takmer úplne závislá od zemného plynu[1], pričom takmer štyri pätiny vyrobenej elektriny pochádza práve z elektrární na zemný plyn. Používanie zemného plynu na výrobu elektriny robí Bangladéšsku elektrinu relatívne čistú z hľadiska emisií skleníkových plynov. Okrem výroby elektriny sa zemný plyn v Bangladéši využíva aj v mnohých ďalších sektoroch konečného využitia. Používa sa napríklad ako zdroj energie, vykurovania a v niektorých prípadoch ako surovina. Bytové využitie zemného plynu je primárne na varenie v domácnostiach s plynovými prípojkami. Preto je vhodné pochopiť, ako sa v budúcnosti bude vyvíjať dopyt po zemnom plyne.

1.1 Autori, zdroje

Táto práca bola vypracovaná študentmi Andrej Hýroš a Šimon Feňko počas kurzu *Modelování a simulace (IMS) na FIT VUT v Brně*. Ako odborná literatúra a zdroje faktov slúžili materiály z kurzu IMS[8], štatistické údaje zo stránok **worldometers.info**, **statista.com** a **worldbank.com**, výročné správy spoločnosti Petrobangla[3] a odborné štúdie na tému predikcie dopytu po zemnom plyne[12].

1.2 Overovanie validity

Pre model[8, s. 7] dopytu je niekoľko možných funkčných foriem, ako napríklad lineárna, loglineárna, semilog a podobne. Tieto funkčné formy definujú matematický vzťah medzi premennými dopytu. Analyzovaný log-lineárny Cobb–Douglas[11] je najpoužívanejšou funkčnou formou na modelovanie[8, s. 8] dopytu. Model bude overený matematickými výpočtami na získaných dátach, ako sú hrubý domáci produkt, populácia a ceny plynu v Bangladeši v priebehu rokov 1980 - 2004

2 Rozbor tématu a použitých metod/technológií

Na dopyt po zemnom plyne majú najväčší vplyv ekonomické a demografické faktory, ako sú ceny plynu, hrubý domáci produkt, priemerný príjem a populácia krajiny. Ďalším faktorom môžu byť aj klimatické podmienky. Nízke teploty zvyšujú dopyt po kúrení a vysoké teploty zase zvyšujú dopyt po chladení. To má za následok zvýšenie dopytu po zemnom plyne elektrárnami. Ďalšími faktormi môžu byť nepredvídateľné udalosti (napr. pandémie), zmeny štruktúry ekonomiky alebo vládnej politiky.

2.1 Popis použitých nástrojov

Pre vytvorenie tohoto modelu v programe bol použitý jazyk C++ za podpory knižnice Eigen[9]. Jedná sa o tzv. *template library* implementujúcu lineárnu algebru (matice, vektory). Táto knižnica je pre náš model ideálna, keďže náš model odpovedá lineárnemu regresnému modelu[7]. Ďalšou výhodou je, že sa jedná o overenú, multiplatformnú knižnicu s rýchlou implementáciou lineárnej algebry.

2.2 Popis pôvodu použitých technológií

Boli použité štandardné funkcie jazyka C++. Knižnice Eigen je dostupná na jej oficiálnych stránkach. Použitá bola jej verzia 3.4.0 Pre preklad zdrojových súborov bol použitý nástroj GNU Make, jedná sa o tzv. *free software* pod licenciou GNU GPL a je dostupný na svojej oficiálnej stránke.

3 Konceptia modelu

Pre modelovanie dopytu po zemnom plyne (všeobecne po energii) existuje niekoľko sofistikovaných modelov, ako napríklad ekonometrické modely, systémové dynamiky alebo modely využívajúce nerurónové siete. Tieto modely často vyžadujú množstvo parametrov, ktoré boli spomenuté vyššie. Spomedzi nich sú ceny plynu a hrubý domáci produkt dlhodobo považované za najpodstatnejšie[5][6]. Negatívny dopad ceny je taktiež dobre dokumentovaný na štúdiách dopytu po rope v dopravnom sektore.[10] Pre nedostatok dát o väčšine rozoberaných parametrov v rozvojových krajinách použijeme tieto dve premenné pre predpovedanie vývoja dopytu po plyne. Celkový dopyt po plyne teda budeme modelovať ako funkciu závislú na HDP, cene plynu a veľkosti populácie. Najuznávanejšia funkcia pre modelovanie dopytu je log-lineárny Cobb-Douglas, takže sa budeme riadiť touto funkciou.

3.1 Vyjadrenie modelu

Náš model je teda vyjadrený rovnicou:

$$\bullet \text{ Gas} = C(\text{Price})^\alpha (\text{GDP})^\beta (\text{Population})^\gamma \quad (1)$$

po zlogaritmovaní dostaneme:

$$\bullet \ln(\text{Gas}) = \kappa + \alpha \ln(\text{Price}_t) + \beta \ln(\text{GDP}_t) + \gamma \ln(\text{Population}_t) \quad (2)$$

kde:

- Gas je dopyt po zemnom plyne v čase t
- Price je cena plynu v čase t
- GDP je hrubý domáci produkt v čase t
- Population je počet obyvateľstva v čase t
- $\kappa, \alpha, \beta, \gamma$ sú parametre ktoré musia byť vyrátané

3.2 Rátanie neznámych parametrov

Aby sme mali funkčný model, musíme vypočítať hodnoty koeficientov $\kappa, \alpha, \beta, \gamma$. To dosiahneme implementovaním lineárneho regresného modelu. Získané dáta o spotrebe plynu[2], cenách plynu[3], populácii[4] a HDP[14] v rokoch 1980 až 2004 v Bangladéši dosadíme do modelu a dopočítame bodové odhady regresných koeficientov. Na základe dostupných dát boli regresným koeficientom odhadnuté hodnoty:

- $\kappa = -68.32869733$
- $\alpha = 0.43223284$
- $\beta = -0.21713135$
- $\gamma = 4.04699093$

Náš model teda teraz vyzerá:

$$\bullet \ln(\text{Gas}) = -68.32 + 0.43 \ln(\text{Price}_t) - 0.21 \ln(\text{GDP}_t) + 4.04 \ln(\text{Population}_t) \quad (3)$$

3.3 Implementácia regresného modelu

Regresný model je implementovaný v súbore `model.cpp`. Všetky potrebné dáta (hdp, ceny plynu, spotreba plynu, populácia) sú uložené v súbore `data.h`

Vyrátanie bodových odhadov je implementované vo funkcii `get_coefficient_point_estimates` a vyplíva z lineárneho regresného modelu.

Po vyrátaní bodových odhadov regresných koeficientov ich môžeme zapojiť do pôvodného modelu (2) a vznikne nám rovnica (3). Do tejto rovnice môžeme následne dosadiť hodnoty nezávislých premenných (Price, Population, GDP) v čase t a vypočítať tak dopyt po zemnom plyne v čase t .

4 Architektúra simulačného modelu/simulátoru

Pri spustení simulačného modelu[8, s. 44] sa spustí predikcia[8, s. 43] vývoja dopytu po zemnom plyne v Bangladéši v rokoch 2020 - 2025. Model dostane na vstup hodnoty nezávislých premenných a vyráta predpokladaný dopyt.

4.1 Dáta

Aby sme mohli predikovať tento vývoj, musíme poznať hodnoty nezávislých premenných v budúcnosti. Budeme predpokladať, že ceny plynu budú pre dané obdobie stabilné (takýto predpoklad môže byť vždy otáznym, keďže nepredvídateľné udalosti ako napríklad pandémie môžu ovplyvniť ceny plynu). Predikcia HDP Bangladéšu na dané obdobie[13] je dostupná na stránke www.statista.com. Populácia Bangladéšu má počas sledovaného obdobia stabilne rásť o 1% ročne.[4]

4.2 Mapovanie abstraktného modelu do simulačného modelu

Potrebné dáta pre model sú uložené v súbore `data.h`. Súbor `model.cpp` obsahuje funkciu `calculate_damand` ktorá slúži ako implementácia modelu. Na jej vstupe sú hodnoty nezávislých premenných a už známe bodové odhady regresných koeficientov.

5 Podstata simulačných experimentov a ich priebeh

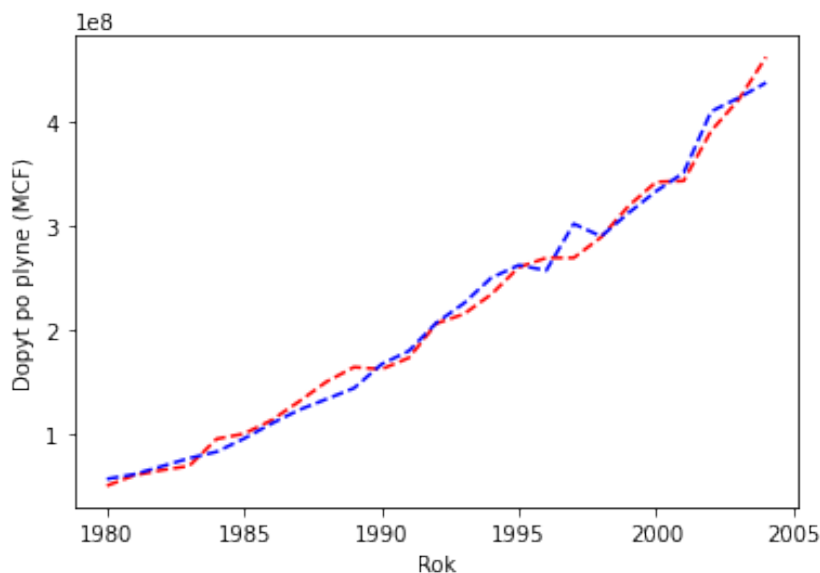
Experimenty slúžili na overenie validity modelu, následne jeho prípadné doladenie tak, aby bol čo najviac podobný skutočnému systému[8, s. 7]. Po validovaní modelu sme mohli prejsť na ďalší experiment, ktorého podstata spočívala v predikovaní dopytu po zemnom plyne v Bangladéši.

5.1 Použitie simulátora

- `make` - preloží program
- `make clean` - odstáni súbory vytvorené prekladom
- `make run` - preloží a vykoná program

5.2 Experiment č.1

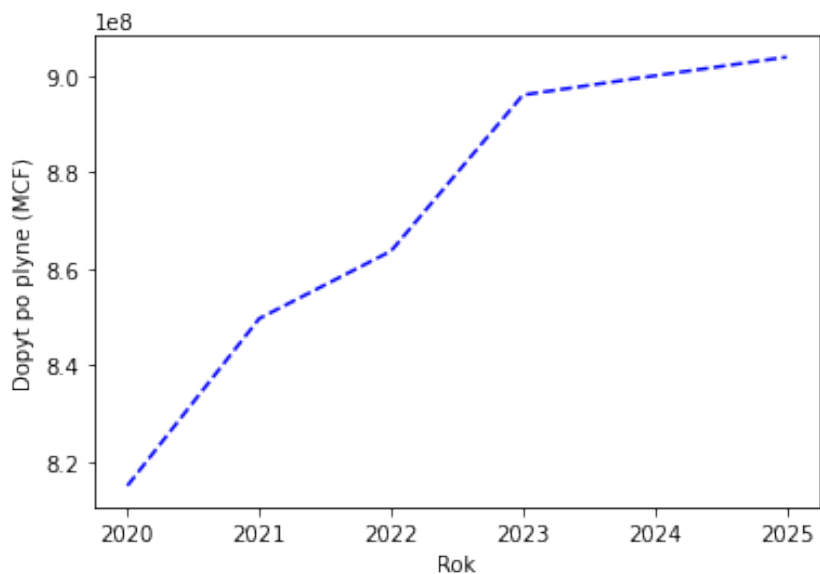
Experiment č.1 slúži na overenie validity modelu. Na grafe je možno vidieť vysokú podobnosť kriviek. Na základe tejto podobnosti sme označili tento model za validný. Červená krivka ukazuje skutočný vývoj dopytu po plyne a modrá krivka je výstupom modelu.



Obr. 1: Experiment č.1

5.3 Experiment č.2

V experimente č.2 sme pristúpili ku predikcii dopytu po plyne v Bangladéši na roky 2020 - 2025. Na grafe je možné vidieť že v priebehu piatich rokov výrazne stúpne dopyt po plyne.



Obr. 2: Experiment č.2

6 Záver

Prvým experimentom sme dokázali validitu modelu. Následne sme pristúpili k experimentu č.2, v ktorom sme predpovedali vývoj dopytu po zemnom plyne v rokoch 2020 - 2025. Z výsledkov experimentu vyplíva, že v danom časovom intervale výrazne narastie spotreba plynu v Bangladéši a to v dôsledku rastu HDP a populácie krajiny. V rámci projektu vznikol nástroj na modelovanie dopytu po plyne v rozvojových krajinách, ktoré často nedisponujú podrobnými štatistikami o ekonomike. V rámci projektu bola vytvorená implementácia tohto modelu v jazyku C++.

7 Prílohy

EXPERIMENT 1

ROK	SKUTOČNÁ SPOTREBA (MCF)	PREDPOVEDANÁ SPOTREBA (MCF)	ROZDIEL (%)
1980	50_000_000	56474230.99	12
1981	60_000_000	61010885.14	1
1982	65_000_000	68654612.11	5
1983	69_000_000	76436843.51	10
1984	95_000_000	82680519.59	12
1985	100_000_000	95383924.69	4
1986	113_000_000	109766174.98	2
1987	131_000_000	122916090.85	6
1988	150_000_000	133307838.80	11
1989	164_000_000	143804821.10	12
1990	162_000_000	166761028.62	2
1991	173_000_000	179605109.24	3
1992	206_000_000	206646512.44	0
1993	215_000_000	225355755.18	4
1994	234_000_000	249957628.65	6
1995	260_000_000	262009569.55	0
1996	269_000_000	256910970.94	4
1997	269_000_000	301731066.10	12
1998	289_000_000	289698766.17	0
1999	319_000_000	312309165.28	2
2000	342_000_000	333096493.63	2
2001	343_000_000	350808845.04	2
2002	391_000_000	409727879.32	4
2003	421_000_000	422819241.96	0
2004	462_000_000	437349818.89	5

Obr. 3: Výstup experimentu č.1

1

¹MCF - (thousand cubic feet) Jednotka objemu plynu, 1 MCF = 1000 kubických stôp

EXPERIMENT 2

ROK	PREDPOKLADANÁ SPOTREBA (MCF)
2020	815031715.06
2021	849678444.06
2022	863665168.92
2023	896010422.26
2024	899985353.53
2025	903855016.47

Obr. 4: Výstup experimentu č.2

Citácie

- [1] Bangladesh Power Development Board. *Annual Report*. [ONLINE]. 2007. URL: https://www.bpdb.gov.bd/bpdb_new/resourcefile/annualreports/075_Annual%20Report-10.pdf.
- [2] British Petroleum. *Bangladesh Natural Gas*. [ONLINE]. 2005. URL: <https://www.worldometers.info/gas/bangladesh-natural-gas/>.
- [3] British Petroleum. *Bangladesh Oil, Gas and Mineral Corporation*. 2004. URL: http://www.petrobangla.org.bd/sites/default/files/files/petrobangla.portal.gov.bd/annual_reports/f91a4dfb_1a5e_41dc_a039_e91192abcc41/Annual_Report%2714.pdf.
- [4] British Petroleum. *Bangladesh Population*. [ONLINE]. 2021. URL: <https://www.worldometers.info/world-population/bangladesh-population/>.
- [5] Brown M. A. *Scenarios for a clean energy future*. [ONLINE]. 2000. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421501000660>.
- [6] Cleveland C. *Agregation and the role of energy in the economy*. [ONLINE]. 2000. URL: [http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921-8009\(99\)00113-5](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921-8009(99)00113-5).
- [7] doc. RNDr. Libor Žák Ph.D., ÚM FSI VUT. *Statistika a pravděpodobnost*. [ONLINE]. 2021. URL: https://wis.fit.vutbr.cz/FIT/st/cfs.php.cs?file=%2Fcourse%2FMSP-IT%2Flectures%2FMSP_pred_07_Reg-analyza_Testy_Spec-modely_Diagnostika.pdf&cid=14751.
- [8] Dr. Ing. Petr Peringer a Ing. Martin Hrubý Ph.D. *VUT Modelování a simulace*. [ONLINE]. 2021. URL: <https://wis.fit.vutbr.cz/FIT/st/cfs.php.cs?file=%2Fcourse%2FIMS-IT%2Flectures%2FIMS-2021-09-20.pdf&cid=14664>.
- [9] Ga"el Guennebaud and Benoⁱt Jacob and others. *Eigen v3*. 2010. URL: <http://eigen.tuxfamily.org/%7D>.
- [10] Gately, D., Huntington. *The asymmetric effects of changes in price and income on energy and oil demand*. [ONLINE]. 2002. URL: <https://www.jstor.org/stable/41322942>.
- [11] Charles Cobb, Paul Douglas. *A theory of production*. [ONLINE]. 1928. URL: <https://assets.aeaweb.org/asset-server/journals/aer/top20/18.1.139-165.pdf>.
- [12] M. Toksari. *Predicting the Natural Gas Demand Based on Economic Indicators: Case of Turkey*. [ONLINE]. 2010. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15567030802578823>.
- [13] Statista. *Forecast of GDP*. [ONLINE]. 2021. URL: <https://www.statista.com/outlook/co/economy/bangladesh#key-market-indicators>.
- [14] World Bank. *Bangladesh GDP*. [ONLINE]. 2021. URL: <https://tradingeconomics.com/bangladesh/gdp>.
- [15] Zia Wadud, Himadri S. Dey, Md. Ashfanor Kabir, Shahidul I. Khan. *Modeling and forecasting natural gas demand in Bangladesh*. [ONLINE]. 2011. URL: https://www.researchgate.net/publication/260554870_Modeling_and_forecasting_natural_gas_demand_in_Bangladesh.