



Vysoké Učení Technické v Brně  
Fakulta Informačních Technologií

## **Modelování a simulace - Bydlení nebo správa budov**

Růst domácností a jeho dopad na energetiku

Bogdan Shaposhnik, xshapo04  
Nikita Smirnov, xsmirn02

11. listopadu 2024

# Obsah

|          |   |          |
|----------|---|----------|
| <b>1</b> | <b>Úvod</b>   | <b>3</b> |
| 1.1      | Autory . . . . .  | 3        |
| 1.2      | Validita dat . . . . .                                  | 3        |
| <b>2</b> | <b>Rozbor tématu a použitých technologií</b>            | <b>3</b> |
| 2.1      | Popis použitých postupů . . . . .                       | 4        |
| 2.2      | Popis původu použitých metod . . . . .                  | 4        |
| <b>3</b> | <b>Koncepce modelu</b>                                  | <b>4</b> |
| 3.1      | Vyjádření modelu . . . . .                              | 5        |
| 3.2      | Princip činnosti . . . . .                              | 6        |
| <b>4</b> | <b>Architektura simulačního modelu</b>                  | <b>6</b> |
| 4.1      | Simulační proces . . . . .                              | 6        |
| 4.1.1    | Vstupní bod . . . . .                                   | 6        |
| 4.1.2    | Pomocné funkce . . . . .                                | 6        |
| 4.1.3    | Konstanty . . . . .                                     | 6        |
| 4.2      | mapování abstraktního modelu . . . . .                  | 7        |
| 4.3      | Data . . . . .  | 7        |
| <b>5</b> | <b>Podstata simulačních experimentů a jejich průběh</b> | <b>7</b> |
| 5.1      | Použití simulačního programu . . . . .                  | 7        |
| 5.2      | Experiment č 1. . . . .                                 | 7        |
| 5.3      | Experiment č 2. . . . .                                 | 8        |
| 5.4      | Experiment č 3. . . . .                                 | 8        |
| <b>6</b> | <b>Shrnutí simulačních experimentů a závěr</b>          | <b>9</b> |
| 6.1      | Přílohy k experimentům . . . . .                        | 10       |

# 1 Úvod

Naše práce se zabývá otázkou růstu měst a jeho dopadu na energetiku, konkrétně na spotřebu elektřiny. Vzhledem k tomu, že na domácnosti připadá přibližně 25 % všech výdajů na elektřinu v zemi, je dopad sektoru domácností na energetiku v zemi velmi významný.

Přestože energetická krize dnes není tak jednoznačně na pořadu dne, při současném tempu urbanizace a digitalizace je těžké předvídat, jak velkým problémem bude v budoucnu. To se týká jak nákladů na rozšiřování komplexu výroby energie, tak i problému emisí odpadů, které vznikají při výrobě většího množství energie. V tomto článku se pokusíme sestavit a namodelovat [10, s. 8] systém [10, s. 7] který dokáže předpovědět nárůst spotřeby elektřiny při současném tempu růstu domácností.

## 1.1 Autory

Shaposhnik Bogdan (xshapo04) - autor

Smirnov Nikita (xsmirn02) - autor

Při psaní této práce jsme využili jak otevřené zdroje informací, z nichž byly čerpány statistické údaje (například [statista.com](https://www.statista.com) [12], [fred.stlouisfed.org](https://fred.stlouisfed.org) [5] a [ourworldindata.org](https://ourworldindata.org) [8]), tak vědecké práce, například práce věnované analýze faktorů ovlivňujících poptávku po elektřině ze strany spotřebitelského sektoru [6].

## 1.2 Validita dat

Experimentální ověření modelu [10] bylo provedeno v prostředí regresní analýzy s využitím historických údajů o ceně elektřiny, HDP a spotřebě energie na domácnost. K výpočtu koeficientů elasticity [9] použitých pro výpočet spotřeby elektřiny byla použita metoda vícenásobné lineární regrese [11]. Historické údaje byly získány z veřejně dostupných zdrojů, konkrétně ze statistiky růstu počtu domácností ve Spojených státech v letech 2000-2020 [2] a statistiky spotřeby energie na domácnost v letech 2000-2017 [1].

## 2 Rozbor tématu a použitých technologií

V našem případě model na základě studie zpracované Yueyanem Chenem [6] považuje za nejdůležitější faktory vztah mezi počtem domácností, spotřebou energie, cenou energie, HDP a energetickou účinností. Vliv mají také parametry, jako je klima a faktor zařízení používaných obyvatelstvem, které mají velký dopad při analýze konkrétní oblasti země. Za zmínku stojí také vliv nepředvídaných okolností a politiky dané země týkající se spotřeby energie.

## 2.1 Popis použitých postupů

Pro vytvoření modelu byla použita regresní analýza[11] v logaritmickém prostoru k určení vlivu klíčových faktorů (cena energie, HDP a energetická efektivita) na spotřebu energie na domácnost. Tento přístup je vhodný, protože umožňuje zachytit nelineární závislosti a kvantifikovat jejich vliv pomocí elasticit.

Alternativně by bylo možné použít simulaci Monte Carlo[13], ale ta je výpočetně náročnější a méně přehledná pro interpretaci elasticit. Proto je regresní analýza efektivnějším řešením, zejména proto, že do modelu nezahrneme náhodné faktory.

## 2.2 Popis původu použitých metod

K analýze závislosti spotřeby energie na ceně, HDP a energetické účinnosti byla použita metoda logaritmické regrese. Tato metoda byla zvolena pro svou schopnost lineárně vyjádřit proporcionální změny mezi proměnnými. V literatuře se hojně používá k modelování energetických a ekonomických systémů, kde proměnné mají exponenciální nebo multiplikativní vztahy.

K předpovědi růstu ceny energie byl použit model exponenciálního růstu, který zohledňuje analýzu otevřených zdrojů[4] a trendy růstu cen elektřiny v posledních letech[3].

K předpovědi trendů růstu počtu domácností byl použit model proporcionálního růstu počtu domácností váženého HDP na základě trendů za posledních 50 let[2].

## 3 Koncepce modelu

Při tvorbě konceptuálního modelu jsme se rozhodli omezit na klíčové faktory, které mají dlouhodobý a významný vliv na spotřebu energie v rámci země. Mezi tyto faktory patří hrubý domácí produkt (HDP), ceny energie a počet domácností. Tento přístup zohledňuje makroekonomické ukazatele, které lze spolehlivě měřit a modelovat, přičemž jsme záměrně zanedbali méně podstatné faktory, jako jsou například změny klimatu, míra digitalizace nebo regionální rozdíly ve spotřebě.

Tato rozhodnutí byla vedena snahou zjednodušit model a zajistit jeho použití na úrovni celostátního měřítka. Faktory, jako je například digitalizace nebo regionální disparity, jsou sice relevantní na lokální úrovni, avšak jejich vliv na celkový trend energetické spotřeby v dlouhodobém horizontu je marginální a jejich zahrnutí by přineslo nadměrnou složitost bez přímého zlepšení prediktivní schopnosti modelu. Podobně i faktory spojené s klimatickými změnami byly v této fázi analýzy zanedbány, protože jejich vliv je zpravidla zahrnut v dlouhodobém vývoji cen a HDP.

Za zmínku také stojí, že náš model se snaží využít poskytnutá data pro přesnější výpočet, ale z důvodu jejich nedostatku počítáme data za běhu. Pro zjednodušení modelu byl také zjednodušen výpočet energetické účinnosti. Výzkum[7] na toto téma však byl zohledněn.

### 3.1 Vyjádření modelu

1. Funkce pro výpočet počtu domácností:

$$H(t) = H_{prev} \cdot \left( 1 + r_H \cdot \frac{GDP(t)}{GDP_{prev}} \right)$$

kde:

- $H_{prev}$  - počet domácností v předchozím roce.
- $r_H$  - 0.015, vypočtený standardní procento růstu domácností.
- $\frac{GDP(t)}{GDP_{prev}}$  - faktor růstu HDP za poslední rok.

2. Funkce pro výpočet ceny elektřiny:

$$P(t) = P_{prev} \cdot e^{\beta \cdot (t - t_{prev})}$$

kde:

- $P_{prev}$  - cena elektřiny v předchozím roce.
- $\beta$  - 0.015, vypočtený faktor růstu ceny pro exponenciální funkci.

3. Funkce pro výpočet HDP:

$$GDP(t) = GDP_{prev} \cdot (1 + r_{GDP} \cdot (t - t_{prev}))$$

kde:

- $GDP_{prev}$  - HDP v předchozím roce.
- $\beta$  - 0.025, faktor růstu HDP.

4. Funkce pro výpočet spotřeby energie pro jednu domácnost:

$$E_h(t) = E_{hprev} \cdot P(t)^{\beta_P} \cdot GDP(t)^{\beta_{GDP}} \cdot Eff(t)^{\beta_{eff}}$$

kde:

- $E_{hprev}$  - spotřeba energie v předchozím roce.
- $P(t)^{\beta_P}$  - cena energie v tomto roce, s ohledem na koeficient elasticity.
- $GDP(t)^{\beta_{GDP}}$  - HDP v tomto roce, s ohledem na koeficient elasticity.
- $Eff(t)^{\beta_{eff}}$  - energetická účinnost, s ohledem na koeficient elasticity.
- $\beta_P, \beta_{GDP}, \beta_{eff}$  - jsou koeficienty elasticity, které popisují, jak změna každého faktoru ovlivňuje poptávku po energii.

Výpočet koeficientů elasticity:

$$\ln(E_h(t)) = \beta_P \cdot \ln(P(t)) + \beta_{GDP} \cdot \ln(GDP(t)) + \beta_{eff} \cdot \ln(Eff(t))$$

- $\beta_P = -0.331492$
- $\beta_{GDP} = 0.06471$
- $\beta_{eff} = 0.3781476$

5. Funkce pro výpočet celkové spotřeby energie v rámci posuzovaných údajů:

$$E_{total}(t) = H(t) \cdot E_h(t)$$

kde:

- $H(t)$  - počet domácností.
- $E_h(t)$  - spotřeba energie na domácnost.

## 3.2 Princip činnosti

Pro zvýšení přesnosti výpočtu se model snaží vycházet ze známých údajů. Pokud žádné údaje nenajde, začne je počítat sám na základě dříve uvedených vzorců.

Díky tomu je možné s údaji z jiných přesnějších simulací, např. růstu HDP nebo cen elektřiny se zohledněním možných krizí, použít náš model k přesnějšímu výpočtu potenciální změny spotřeby energie v sektoru domácností.

# 4 Architektura simulačního modelu

## 4.1 Simulační proces

### 4.1.1 Vstupní bod

Simulace začíná od vstupního bodu - funkce **simulate()**. Poté se pro každý rok vypočítají potřebné parametry pro další výpočet modelu spotřeby energie.

### 4.1.2 Pomocné funkce

Pro každý parametr je přiřazena samostatná výpočetní funkce ( například: pro HDP - **calculateGDP()**, pro domácnosti - **calculateHouseholds()**), aby byl model flexibilnější a zvýšila se věrohodnost výsledku.

### 4.1.3 Konstanty

Konstanty použité při výpočtu jsou uloženy v souboru - **data.h**

## 4.2 mapování abstraktního modelu

Funkce `calculateEnergyConsumptionPerHousehold()` implementuje model pro výpočet spotřeby energie na domácnost ve vztahu k dříve vypočteným parametrům a jejich koeficientům elasticity.

## 4.3 Data

Simulace se snaží použít stávající data uložená ve vektoru struktur `knownData` typu `YearData`, která jsou popsána v souboru `data.h`. Můžete přidat data o známých letech, pokud není k dispozici nějaký parametr, můžete zadat hodnotu -1. Použitím různých modelů určených pouze pro výpočet jeho parametru můžeme dosáhnout výrazného zvýšení přesnosti výpočtu spotřeby elektriny v naší simulaci.

# 5 Podstata simulačních experimentů a jejich průběh

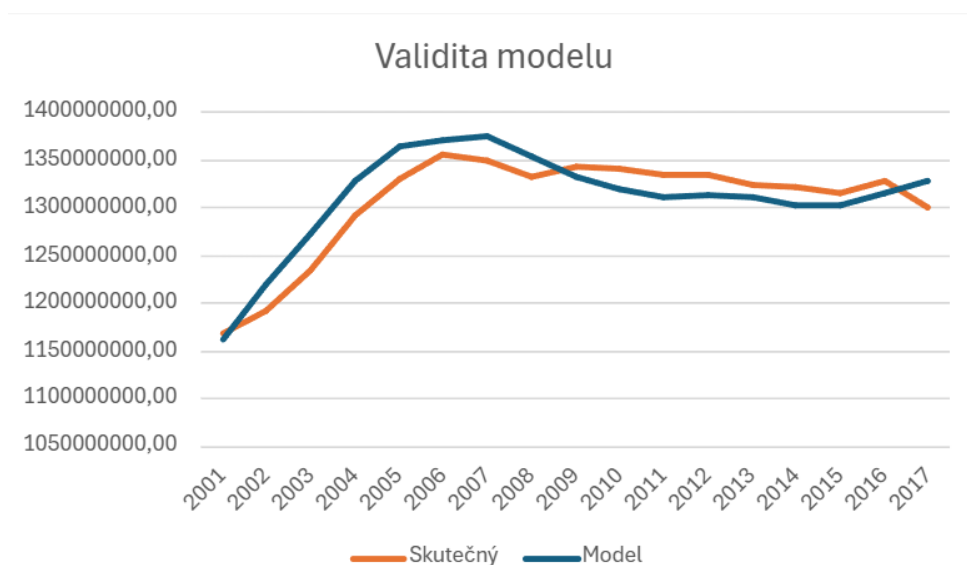
Experimenty sloužily k potvrzení validity modelu[10, s. 10], nebo jinak k jeho dopracování k pracovnímu druhu. Poté bylo možné použít tento model k předpovídání budoucích trendů ve spotřebě energie (tj. experiment č. 2) Podmínky simulace, konkrétně časový úsek, se zadávají v hlavní funkci programu (`main`).

## 5.1 Použití simulačního programu

- `make` - preloží program
- `make run` - vykoná program

## 5.2 Experiment č 1.

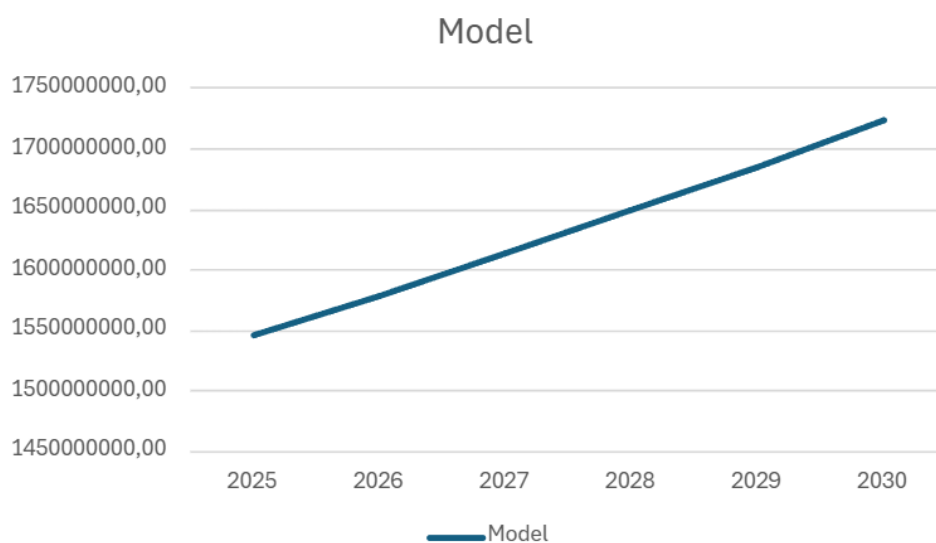
Experiment č. 1 slouží k ověření validity výsledného modelu. Modrá čára ukazuje data, která byla výsledkem modelu, oranžová označuje data získaná výpočtem na základě statistik počtu domácností[2] a energie[1], které tyto domácnosti odebírají (protože v otevřených zdrojích chybí informace o celkové spotřebě energie) na základě podobnosti výsledných grafů lze říct , že model je validní.



Obrázek 1: Experiment č 1.

### 5.3 Experiment č 2.

Experiment č. 2 slouží k předpovědi nárůstu spotřeby energie v domácnostech v USA v letech 2025-2030. V grafu je patrná jasná linearita tohoto nárůstu.

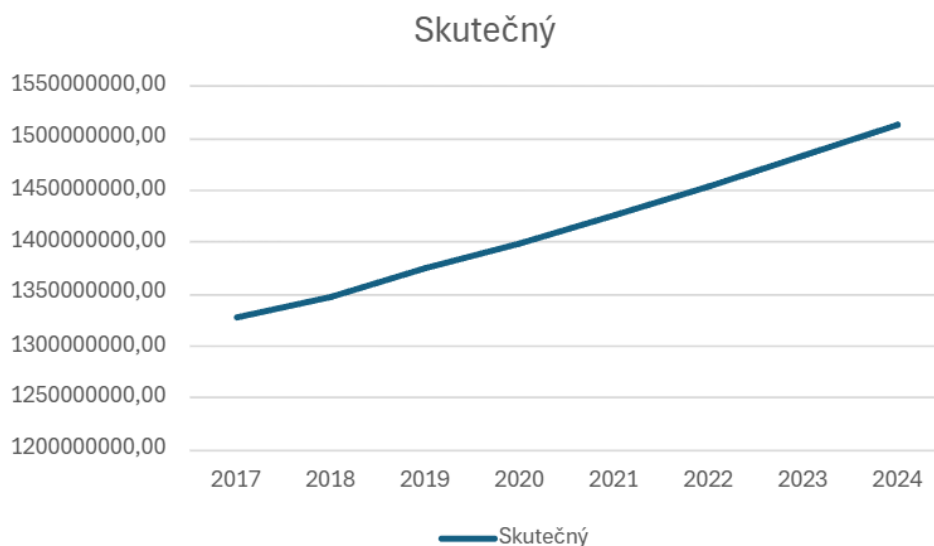


Obrázek 2: Experiment č 2.

### 5.4 Experiment č 3.

Jelikož experiment č. 2 ukázal jasnou linearitu tohoto grafu, bylo rozhodnuto provést experiment č. 3, který by ukázal růst spotřeby energie v letech 2017-2024. Jelikož graf v tomto období vykazoval podobný trend, bylo rozhodnuto, že model funguje správně.





Obrázek 3: Experiment č 3.

## 6 Shrnutí simulačních experimentů a závěr

Prvním experimentem jsme prokázali platnost našeho modelu. Poté jsme přistoupili k experimentu č. 2, ve kterém jsme předpověděli nárůst spotřeby energie v období 2025-2030. V experimentu č. 3 jsme ověřili platnost získaných údajů. Výsledkem experimentů bylo pochopení lineárního růstu spotřeby energie v budoucnu, a to při absenci vnějších faktorů (například krize v roce 2008, kvůli které jsme museli zohlednit chybu v tomto období a několika následujících letech po něm). Důvodem lineárního růstu je skutečnost, že náš model zohledňuje stabilní růst počtu domácností a HDP.

## 6.1 Přílohy k experimentům

| Rok  | Model(kWh)    | Skutečná data(kWh) | Rozdíl(%) |
|------|---------------|--------------------|-----------|
| 2001 | 1163270000,00 | 1168657200,00      | -0,46%    |
| 2002 | 1219240000,00 | 1191337300,00      | 2,29%     |
| 2003 | 1272310000,00 | 1234058000,00      | 3,01%     |
| 2004 | 1327820000,00 | 1293200000,00      | 2,61%     |
| 2005 | 1365220000,00 | 1330775900,00      | 2,52%     |
| 2006 | 1371990000,00 | 1357114560,00      | 1,08%     |
| 2007 | 1375400000,00 | 1350205180,00      | 1,83%     |
| 2008 | 1355060000,00 | 1333661860,00      | 1,58%     |
| 2009 | 1333170000,00 | 1342894260,00      | -0,73%    |
| 2010 | 1319880000,00 | 1341687000,00      | -1,65%    |
| 2011 | 1310970000,00 | 1335175100,00      | -1,85%    |
| 2012 | 1312620000,00 | 1334032400,00      | -1,63%    |
| 2013 | 1311730000,00 | 1324803100,00      | -1,00%    |
| 2014 | 1303150000,00 | 1323196100,00      | -1,54%    |
| 2015 | 1303270000,00 | 1315539600,00      | -0,94%    |
| 2016 | 1315700000,00 | 1328845200,00      | -1,00%    |
| 2017 | 1327720000,00 | 1300107200,00      | 2,08%     |

Obrázek 4: Příloha k experimentu č 1.

| Rok  | Celková spotřeba(kWh) |
|------|-----------------------|
| 2025 | 1545750000,00         |
| 2026 | 1578620000,00         |
| 2027 | 1612820000,00         |
| 2028 | 1648400000,00         |
| 2029 | 1685420000,00         |
| 2030 | 1723940000,00         |

Obrázek 5: Příloha k experimentu č 2.

|            |                    |                |                         |                              |                             |
|------------|--------------------|----------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Year: 2001 | Households: 106310 | GDP: \$37133.6 | Energy Price: \$7.29    | E_Con per house: 10942.2 kWh | Total cons: 1.16327e+09 kWh |
| Year: 2002 | Households: 107942 | GDP: \$37997.7 | Energy Price: \$7.2     | E_Con per house: 11295.3 kWh | Total cons: 1.21924e+09 kWh |
| Year: 2003 | Households: 109625 | GDP: \$39490.3 | Energy Price: \$7.44    | E_Con per house: 11606.1 kWh | Total cons: 1.27231e+09 kWh |
| Year: 2004 | Households: 111362 | GDP: \$41724.6 | Energy Price: \$7.61    | E_Con per house: 11923.4 kWh | Total cons: 1.32782e+09 kWh |
| Year: 2005 | Households: 113129 | GDP: \$44123.4 | Energy Price: \$8.14    | E_Con per house: 12067.8 kWh | Total cons: 1.36522e+09 kWh |
| Year: 2006 | Households: 114909 | GDP: \$46302   | Energy Price: \$8.9     | E_Con per house: 11939.8 kWh | Total cons: 1.37199e+09 kWh |
| Year: 2007 | Households: 116698 | GDP: \$48050.2 | Energy Price: \$9.13    | E_Con per house: 11786 kWh   | Total cons: 1.3754e+09 kWh  |
| Year: 2008 | Households: 118468 | GDP: \$48570.1 | Energy Price: \$9.74    | E_Con per house: 11438.2 kWh | Total cons: 1.35506e+09 kWh |
| Year: 2009 | Households: 120194 | GDP: \$47195   | Energy Price: \$9.82    | E_Con per house: 11091.8 kWh | Total cons: 1.33317e+09 kWh |
| Year: 2010 | Households: 122053 | GDP: \$48650.7 | Energy Price: \$9.83    | E_Con per house: 10814 kWh   | Total cons: 1.31988e+09 kWh |
| Year: 2011 | Households: 123937 | GDP: \$50066   | Energy Price: \$9.9     | E_Con per house: 10577.7 kWh | Total cons: 1.31097e+09 kWh |
| Year: 2012 | Households: 125860 | GDP: \$51784.4 | Energy Price: \$9.84    | E_Con per house: 10429.2 kWh | Total cons: 1.31262e+09 kWh |
| Year: 2013 | Households: 127807 | GDP: \$53409.8 | Energy Price: \$10.07   | E_Con per house: 10263.4 kWh | Total cons: 1.31173e+09 kWh |
| Year: 2014 | Households: 129792 | GDP: \$55304.3 | Energy Price: \$10.44   | E_Con per house: 10040.3 kWh | Total cons: 1.30315e+09 kWh |
| Year: 2015 | Households: 131800 | GDP: \$57040.2 | Energy Price: \$10.41   | E_Con per house: 9888.25 kWh | Total cons: 1.30327e+09 kWh |
| Year: 2016 | Households: 133817 | GDP: \$58206.6 | Energy Price: \$10.27   | E_Con per house: 9832.08 kWh | Total cons: 1.3157e+09 kWh  |
| Year: 2017 | Households: 135898 | GDP: \$60322.3 | Energy Price: \$10.48   | E_Con per house: 9769.99 kWh | Total cons: 1.32772e+09 kWh |
| Year: 2018 | Households: 138033 | GDP: \$63201   | Energy Price: \$10.53   | E_Con per house: 9758.93 kWh | Total cons: 1.34706e+09 kWh |
| Year: 2019 | Households: 140181 | GDP: \$65548.1 | Energy Price: \$10.54   | E_Con per house: 9804.66 kWh | Total cons: 1.37442e+09 kWh |
| Year: 2020 | Households: 142244 | GDP: \$64317.4 | Energy Price: \$10.66   | E_Con per house: 9838.62 kWh | Total cons: 1.39948e+09 kWh |
| Year: 2021 | Households: 144431 | GDP: \$65925.3 | Energy Price: \$10.8211 | E_Con per house: 9876.54 kWh | Total cons: 1.42648e+09 kWh |
| Year: 2022 | Households: 146652 | GDP: \$67573.5 | Energy Price: \$10.9846 | E_Con per house: 9918.45 kWh | Total cons: 1.45456e+09 kWh |
| Year: 2023 | Households: 148906 | GDP: \$69262.8 | Energy Price: \$11.1507 | E_Con per house: 9964.41 kWh | Total cons: 1.48376e+09 kWh |
| Year: 2024 | Households: 151196 | GDP: \$70994.4 | Energy Price: \$11.3192 | E_Con per house: 10014.5 kWh | Total cons: 1.51414e+09 kWh |
| Year: 2025 | Households: 153520 | GDP: \$72769.2 | Energy Price: \$11.4902 | E_Con per house: 10068.7 kWh | Total cons: 1.54575e+09 kWh |
| Year: 2026 | Households: 155881 | GDP: \$74588.5 | Energy Price: \$11.6639 | E_Con per house: 10127.1 kWh | Total cons: 1.57862e+09 kWh |
| Year: 2027 | Households: 158277 | GDP: \$76453.2 | Energy Price: \$11.8402 | E_Con per house: 10189.8 kWh | Total cons: 1.61282e+09 kWh |
| Year: 2028 | Households: 160711 | GDP: \$78364.5 | Energy Price: \$12.0191 | E_Con per house: 10256.9 kWh | Total cons: 1.6484e+09 kWh  |
| Year: 2029 | Households: 163182 | GDP: \$80323.6 | Energy Price: \$12.2008 | E_Con per house: 10328.5 kWh | Total cons: 1.68542e+09 kWh |
| Year: 2030 | Households: 165691 | GDP: \$82331.7 | Energy Price: \$12.3852 | E_Con per house: 10404.6 kWh | Total cons: 1.72394e+09 kWh |

Obrázek 6: Celkova data modelu

## Odkazy

- [1] “Average annual electricity consumption of non-commercial customers in the U.S. from 1990 to 2017 (in kilowatt hours)”. In: *[ONLINE]* (2019). URL: <https://www.statista.com/statistics/203700/average-electricity-consumption-of-non-commercial-customers-in-the-us/>.
- [2] “Census Bureau. Total Households [TTLHH], retrieved from FRED, Federal Reserve Bank of St. Louis”. In: *[ONLINE]* (2024). URL: <https://fred.stlouisfed.org/series/TTLHH>.
- [3] EIA. “Average retail electricity prices in the United States in selected years from 1990 to 2023 (in U.S. dollar cents per kilowatt-hour)”. In: *[ONLINE]* (2024). URL: <https://www.statista.com/statistics/183700/us-average-retail-electricity-price-since-1990/>.
- [4] EIA. “Projected average end-use electricity price in the United States from 2022 to 2050 (in U.S. cents per kilowatt-hour)”. In: *[ONLINE]* (2023). URL: <https://www.statista.com/statistics/630136/projection-of-electricity-prices-in-the-us/>.
- [5] “Federal Reserve Economic Data.” In: *[ONLINE]* (2024). URL: <https://fred.stlouisfed.org/>.
- [6] Yueyan Chen et al. “Econometric analysis of factors influencing electricity consumption in Spain: Implications for policy and pricing strategies”. In: *Heliyon* 10.17 (2024), e36217. ISSN: 2405-8440. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36217>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024122487>.
- [7] Jia Li a Richard E. Just. “Modeling household energy consumption and adoption of energy efficient technology”. In: *Energy Economics* 72 (2018), s. 404–415. ISSN: 0140-9883. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.04.019>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988318301440>.
- [8] “Our World In Data is a project of the Global Change Data Lab.” In: *[ONLINE]* (2024). URL: <https://ourworldindata.org/>.
- [9] Iva Pecáková. “Logistická regrese s vícekategoriální vysvětlovanou proměnnou”. In: *Acta Oeconomica Pragensia* 1 (2007), s. 86–86.
- [10] Petr Peringer a Martin Hrubý. *Modelling and simulation - IMS*. 2024. URL: <http://perchta.fit.vutbr.cz:8000/vyuka-ims/uploads/1/IMS.pdf>.

- [11] Miroslav Pokorný. “COMPLEX SYSTEMS MODELLING USING EXTENDED FUZZY NON-LINEAR REGRESSION ANALYSIS SOUSTAV, MODELOVÁNÍ KOMPLEXNÍCH and ANALÝZY, METODOU ROZŠÍŘENÉ FUZZY NELINEÁRNÍ REGRESNÍ”. In: *[ONLINE]* (2015). URL: [https://emijournal.cz/wp-content/uploads/2020/08/02\\_miroslav\\_pokorny\\_complex\\_system\\_modelling\\_using\\_extended\\_fuzzy.pdf](https://emijournal.cz/wp-content/uploads/2020/08/02_miroslav_pokorny_complex_system_modelling_using_extended_fuzzy.pdf).
- [12] “Statistics, consumer survey results and industry studies from over 22500 sources”. In: *[ONLINE]* (2024). URL: <https://www.statista.com/>.
- [13] Tomáš Tichý. *Simulace Monte Carlo ve financích: Aplikace při ocenění jednoduchých opcí*. VŠB-TU Ostrava, 2010.