

# DOKUMENTÁCIA PROJEKTU

Modelovanie a simulácie

Tepláreň

4.12.2022

Šimon Kadnár xkadna00  
Peter Polóni xpolon03

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>2</b>
1.1	Zdroje faktov a autori . . . . .	2
1.2	Overenie validity . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Rozbor témy a použitých metód</b>	<b>2</b>
2.1	Použíte postupy . . . . .	3
2.2	Predpoklady . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Koncepcia</b>	<b>3</b>
3.1	Forma konceptuálneho modelu . . . . .	3
<b>4</b>	<b>Architektúra simulačného modelu</b>	<b>3</b>
4.1	Mesiace . . . . .	4
4.2	Spustenie programu: . . . . .	4
4.3	Argumenty a parametre . . . . .	4
<b>5</b>	<b>Experimenty</b>	<b>4</b>
5.1	Prvý experiment . . . . .	4
5.2	Druhý experiment . . . . .	5
5.3	Tretí experiment . . . . .	5
5.4	Záver experimentov . . . . .	6
<b>6</b>	<b>Záver</b>	<b>6</b>
<b>7</b>	<b>Literatúra</b>	<b>6</b>

# 1 Úvod

Tento projekt vznikol v rámci predmetu Modelovanie a simulácie. Témou tohto projektu je teplárenstvo. Využitelnosť tohto projektu spočíva hlavne z dnešnej energetickej situácie, kládli sme si otázku ako tepelné čerpadlo energeticky zaťaží Bratislavskú domácnosť, počas celej vykurovacej sezóny. Pre energetické odľahčenie v našej simulácii [1, strana 8] je možné pridať fotovoltaiku, ktorá generuje počas celej simulácie el. energiu. Keďže solárne panely a aj tepelné čerpadlá sa správajú inak v rôznych podmienkach, zakomponovali sme do modelu [1, strana 7] generovanie počasia. Úlohou našej simulácie je zistiť celkovú spotrebu čerpadla a koľko z tejto spotreby pokryl solárny panel a koľko energie bolo odobranej zo siete. Výsledky sme overovali pomocou reálnych dát a pomocou online kalkulačky. Z vykonaných simulačných experimentov [1, strana 9] bude znázornené chovanie systému [1, strana 7] v rôznych podmienkach a bude demonštrované koľko el. energie môže byť potenciálne ušetrenej fotovoltaikou. Pre spracovanie modelu bolo nutné nastudovať ako funguje tepelné čerpadlo, solárne panely v kombinácii s odoberaním el. energie zo siete a museli sme vykonať prieskum počasia počas vykurovacej sezóny.

## 1.1 Zdroje faktov a autori

Autormi simulácie sú:

- Šimon Kádnár, xkadna00@vutbr.cz xkadna00
- Peter Polóni, xpolon03@vutbr.cz xpolon03

Zdrojmi informácií, ktoré sme potrebovali k vypracovaniu tohto projektu boli rôzne stránky, odborné texty a ľudia ktorí, s nami konzultovali veci z oblasti staviteľstva a chémie. Výpis zdrojov sa nachádza na strane 6 a 7.

## 1.2 Overenie validity

Všetky údaje, ktoré sú použité vo výpočtoch sú podložené našimi zdrojmi, preto model považujeme za validný. Zo vstupu berieme len dáta, ktoré sú špecifické pre užívateľa ako napríklad veľkosť vykurovaného domu. Validitu [1, strana 37] sme overili aj pomocou experimentov a porovnaním s realitou.

# 2 Rozbor témy a použitých metód

Pre správne fungovanie modelu potrebujeme na vstup dostať veľkosť domu, vykurovaciu teplotu, maximálny výkon solárneho panelu \* počet panelov na streche, hodnotu  $G$ .

Náš model začína v čase 0:00 a slnko je na oblohe v danom mesiaci po dobu, ktorú sme zistili pomocou odčítania času východu slnka od času západu slnka jeho prostredného dňa. V priebehu dňa však slnko nemusí svietiť vždy, v našom modeli využívame pravdepodobnosť, že najbližšiu hodinu bude svietiť slnko, túto pravdepodobnosť sme vypočítali ako: počet slnečných hodín v mesiaci / (počet dní v mesiaci \* počet hodín od východu do západu slnka). Taktiež sme využili namerané maximálne a minimálne teploty pre mesiace vykurovacej sezóny, pomocou nich generujeme teploty každú hodinu. Tepelné straty domu sme počítali pomocou rovnice  $D = G * V * \Delta T$ , kde  $D$  je celková strata objektu vo Wattoch,  $G$  tepelnoizolačný koeficient domu,  $V$  je obytný priestor objektu v  $m^3$ ,  $\Delta T$  je rozdiel medzi teplotou vnútri domu a zvyčajnou minimálnou vonkajšou teplotou v danej lokalite.

$G$  sa určuje podľa toho kedy bol dom postavený a ako je zaizolovaný. V našej simulácii používame pre  $G$  tieto hodnoty.

- starý dom bez izolácie:  $G = 2$
- starý dom dodatočne čiastočne izolovaný:  $G = 1,5$

- dom postavený po roku 1990:  $G = 1,1$
- dom postavený po roku 2005:  $G = 0,8$
- dom postavený v rokoch 2010 – 2015:  $G = 0,6$
- dom postavený po roku 2015:  $G = 0,4$

Pre výpočet výkonu čerpadla sme použili dva vzorce :

- $COP = \text{maximálna teplota} / (\text{maximálna teplota} - \text{minimálna teplota})$
- $\text{spotrebovaná elektrina} = \text{tepelná strata domu} / COP$

Vykurovaciu sezónu v našom modeli predstavujú mesiace od Septembra po Máj.

## 2.1 Použité postupy

Náš model je vytvorený v jazyku C++ a využíva knižnicu SIMLIB. Rozhodli sme sa pre túto knižnicu, lebo poskytuje rozhrania potrebné k implementácii modelu a ide o overenú knižnicu. Ďalej sme využili postup pre vytvorenie Petriho siete[1, strana 123].

## 2.2 Predpoklady

Predpokladáme, že solárny panel cez slnečnú hodinu generuje 100% svojho maximálneho výkonu, cez ne-slnečnú hodinu, vyprodukuje od 90% do 20% svojho výkonu a v nočných hodinách produkuje 0%. Predpokladáme, že teplota v noci dosahuje nižších teplôt ako dosahuje cez deň. Predpokladáme, že sa teplota začne zvyšovať vždy o 8 ráno, klesať začne po tom čo zapadne slnko. Predpokladáme, že výška stien domu má veľkosť 2,45m.

## 3 Konceptcia

Keďže sme vychádzali z teplôt z okolia Bratislavy náš program tak poskytuje simuláciu len pre túto oblasť. Určenie presnej teploty pre konkrétnu hodinu je veľmi obtiažne a preto sme sa rozhodli generovať teploty náhodne v rozsahu, ktorý je pre daný mesiac bežný. Taktiež generovanie efektívnosti panelu v prípade ne-slnečnej hodiny v rozsahu 20-90% neovplyvní validitu pretože, tým simulujeme hustotu oblakov, cez ktoré neprechádza svetlo, ktoré fotovoltaika vyžaduje.

Zjednodušenie otepľovania dňa a východu slnka od 8 hodiny rannej neseďí moc realite, pretože otepľovanie dna začína v momente, keď začne vychádzať slnko avšak, tento čas sa neustále posúva spolu so západom slnka. Preto sme sa rozhodli stanoviť si presný bod východu slnka a západ je určený dĺžkou daného dňa, tým pádom je deň vždy o pár hodín posunutý oproti realite avšak jeho dĺžka je dodržaná a tomu je prispôsobené otepľovanie. Výpadky el. energie v tomto modeli zanedbávame, pretože ich výskyt je tak nízky až ho môžeme zanedbať.

### 3.1 Forma konceptuálneho modelu

Model je vizualizovaný pomocou Petriho siete (strana 7).

## 4 Architektúra simulačného modelu

Naša simulácia beží po dobu vykurovacej sezóny. Základom nášho modelu je posun v čase vždy o hodinu. Podľa toho vieme kedy je ráno, obed, večer a noc v našej simulácii. V prípade, že prebehne 24h začneme počítať hodiny od času 00:00 ako v realite, vďaka tomu vieme určiť aj o koľký deň v mesiaci sa jedná. V prípade, že

sa naplní maximálny počet dní v mesiaci, presunieme sa na nový mesiac a počet dní sa opäť ráta od začiatku. Na základe toho o aký mesiac sa jedná sa následne každú hodinu vygeneruje vonkajšia teplota a šanca, že najbližšiu hodinu nebude zamračená obloha. Vďaka tomu vieme povedať akú efektivitu bude mať fotovoltaika a koľko energie by mala vyprodukovať najbližšiu hodinu. Výkon čerpadla a koľko energie spotrebuje sa odvíja od vonkajších teplôt a tepelnej straty, ktorá je vypočítaná na základe zadaných údajov do programu.

## 4.1 Mesiace

Mesiace sú uložené vo viazanom zozname, ktorý obsahuje minimálnu teplotu, maximálnu teplotu, počet dní, pravdepodobnosť že v danú hodinu bude svietiť slnko a počet hodín od východu do západu slnka.

## 4.2 Spustenie programu:

```
./radiator [-a <rozloha domu>] [-g <typ zateplenia>] [-m <vykurovacía teplota>] [-n <maximálny výkon panelu>] [-h]
```

Pri prvom spustení je potrebné program preložiť pomocou príkazu make.

## 4.3 Argumenty a parametre

-a <rozloha domu > veľkosť domu v  $m^2$

-g <typ zateplenia > G hodnota 2-0.4

-m <vykurovacía teplota > teplota( $^{\circ}C$ ) ktorá má byť udržiavaná vnútri domu

-n <maximálny výkon panelu > maximálny výkon panelu(W) počas jasnej oblohy

-h zobrazí nápovedu

Parametre je možné zadávať v ľubovoľnom poradí. Všetky parametre sú povinné v prípade až na -n. V prípade, že nepočítame s možnosťou generovania el. energie fotovoltaikou.

# 5 Experimenty

Cieľom experimentovania bolo najskôr overiť validitu nášho modelu, následne sme chceli overiť ako sa model bude správať v extrémnejších prípadoch a či náš systém ustojí tieto prípady.

Postup experimentovania:

- Zadali sme vstupné hodnoty programu
- Spustili sme simuláciu
- Zapísali sme výstup programu do tabuľky

## 5.1 Prvý experiment

Dáta tohto experimentu boli porovnávané s reálnym čerpadlom v dome s rozlohou  $73m^2$ , vykurovacou teplotou  $21^{\circ}C$ , dom je novostavbou a teda koeficient G je rovný hodnote 0.4, tento dom však nemal solárny panel a teda v tomto experimente nebude zahrnutý. Cieľom tohto experimentu bolo overiť správnosť výpočtu spotreby energie. Dáta namerané z čerpadla máme len v dobe 6 mesiacov (September-Február) a 12 mesiacov. Pre 6 mesiacov spotrebovalo približne 5000kW a za 12 mesiacov 10000kW do čoho bolo zarátaná ale aj prevádzka v lete.

Pre dobu 6 mesiacov:

Z experimentu je vidieť, že približne odpovedá nameraným výsledkom za 6 mesiacov. Pre tento experiment sme zmenšili dobu behu nášho programu.

veľkosť domu ( $m^2$ )	G	vykurovací teplo ( $^{\circ}C$ )	spotrebovaná elektrina (kW)	vygenerovaná elektrina (kW)
73	0.4	21	5375	0

veľkosť domu ( $m^2$ )	G	vykurovací teplo ( $^{\circ}C$ )	spotrebovaná elektrina (kW)	vygenerovaná elektrina (kW)
73	0.4	21	7146	0

Pre celú vykurovaciu sezónu nám vyšli tieto dáta:

Na základe nameraných dát za 6 a 12 mesiacov predpokladáme, že za 9 mesiacov by mala byť spotreba 7500kW. Výsledok simulácie sa k tejto hodnote blíži a môžeme povedať, že je správny.

## 5.2 Druhý experiment

Cieľom tohto experimentu je zistiť koľko energie sa ušetrí solárnym panelom pri rovnakej veľkosti domu a pri žiadnom zateplení. Simulovaný panel dokáže maximálne vygenerovať 300 wattov za hodinu a panelov je na streche 10.

veľkosť domu ( $m^2$ )	G	vykurovací teplo ( $^{\circ}C$ )	spotrebovaná elektrina (kW)	vygenerovaná elektrina (kW)
73	2	21	35744	6240

Z experimentu je vidieť, že dom, ktorý nie je zateplený, má obrovské úniky tepla čo spôsobuje, že čerpadlo má veľkú spotrebu elektrickej energie. Panely s výkonom 300W takému domu ušetrí, 6240kW za vykurovaciu sezónu. Panely pokryli približne 1/6 energetických nárokov čerpadla.

## 5.3 Tretí experiment

Cieľom tohto experimentu je simulovať, ako by obstál väčší rodinný dom s rozlohou  $150m^2$  s počtom 12 solárnych panelov s výkonom 250W. Dom je moderný a zateplený.

veľkosť domu ( $m^2$ )	G	vykurovací teplo ( $^{\circ}C$ )	spotrebovaná elektrina (kW)	vygenerovaná elektrina (kW)
150	0.4	21	14687	6240

Z experimentu je vidieť, že množstvo elektriny, ktoré by bolo treba zaplatiť je 8446 kW. Tento experiment bol overený cez online [kalkulačku](#) s parametrami:

- Najbližšie mesto: Bratislava
- Počet osôb v domácnosti: 3
- Vykurovací plocha: 150
- Výška miestnosti: 2.5
- Materiál: Železobetón
- Hrúbka stien: 25
- Zateplenie: Polystyrén
- Hrúbka izolácie: 20
- Zateplenie Strecha: Polystyrén
- Hrúbka izolácie Strecha: 30
- Zasklenie Materiál: Dvojsklo

- Podiel skla: 20

Cena za spotrebovanú energiu vychádza na 594€. V našom modeli, ak vynásobíme 14687kW cenou el. energie 0.046€/kWh tak vyjde 675,60€ čo približne odpovedá online kalkulačke.

## 5.4 Záver experimentov

Vykonalí sme celkom 4 experimenty behom, ktorých bola overená viac krát validita nášho modelu, avšak náš model nie je úplne presný. Možné spresnenie simulácie by sa dalo doceliť presnejším výpočtom tepelných strát domu (zadaním presných materiálov z ktorých je dom postavený), presným popisom vlastností využívaného tepelného čerpadla, započítanie vetrania, tepelného zisku z osôb a spotrebičov v domácnosti čo by však dosť skomplikovalo samotný model. Z experimentov sme zistili zaujímavé informácie o množstve spotrebovanej el. energie na základe zateplenosti domov a jej možné pokrytie pomocou fotovoltaiiky.

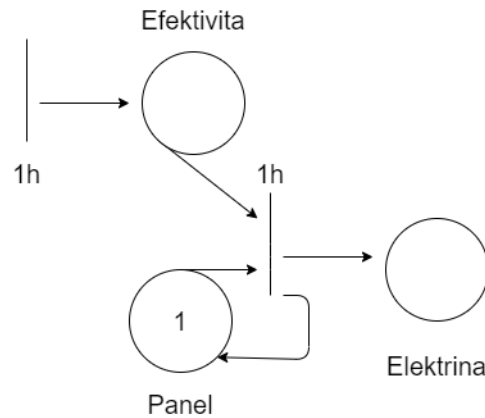
## 6 Záver

V rámci projektu vznikol nástroj, ktorý simuluje priebeh mesiacov september až máj a teda teploty v týchto mesiacoch, východ a západ slnka, počasie v týchto mesiacoch na základne čoho, je možné vykonávať výpočty ohľadom spotrebovanej a vygenerovanej el. energie. Tento nástroj bol implementovaný v jazyku C++ s použitím knižnice SIMLIB. Pri spustení tohto nástroja je možné meniť vstupné hodnoty vďaka čomu program umožňuje simulovať vykurovanie pre rôzne typy domov. Výstupom programu je množstvo spotrebovanej a vygenerovanej el. energie a následne ich rozdiel, teda koľko elektriny nebolo pokrytej fotovoltaiikou.

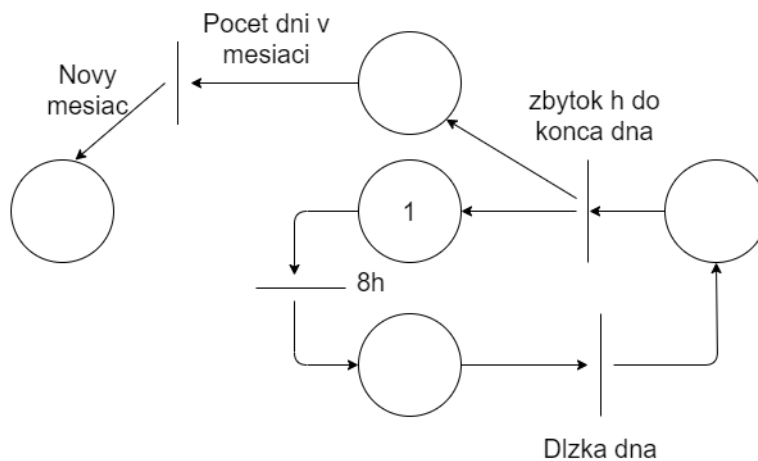
## 7 Literatúra

- Zdroj k IMS pojmom: <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>
- Zdroj knižnice SIMLIB: <https://www.fit.vutbr.cz/peringer/SIMLIB/>
- Zdroj počtu slnečných hodín na Slovensku: <https://weather-and-climate.com/average-monthly-hours-Sunshine,Bratislava,Slovakia>
- Zdroj nameraných teplôt v Bratislave: [https://www.shmu.sk/ské/?page=1&id=klimat\\_operativneudaje1](https://www.shmu.sk/ské/?page=1&id=klimat_operativneudaje1)
- Zdroj tepelných strát podľa typu zateplenia: <https://www.stavmat.sk/navody/detail/ako-vypocitat-tepelne-straty-domu>  
<https://odzkladov.sk/uspورا-energie/ako-vypocitat-tepelne-straty-domu/>
- Zdroj časov východu a západu slnka: <https://calendar.zoznam.sk/sunset-sk.php>
- Zdroj vlastností čerpadiel: <https://www.klimadodому.sk/eshop/tepelne-cerpadlo-vzduch-voda-lg-therma-v-monoblok-140-kw-hm143mru34/p-317.xhtml>
- Zdroj výkonu tepelného čerpadla (COP): <https://www.syners.sk/kedy-sa-oplati-tepelne-cerpadlo/>
- Zdroj dĺžky vykurovacej sezóny: <https://energieprevas.sk/vykurovanie/9>

- Zdroj cien za el. neregii:  
[https://www.zse.sk/documents/13897953/Cennik\\_domacnosti\\_EE\\_01012019.pdf](https://www.zse.sk/documents/13897953/Cennik_domacnosti_EE_01012019.pdf)
- Zdroj online kalkulačky:  
<https://teplozima.sk/tepelne-cerpadla/kalkulacka-uspory-nakladov/>
- Zdroj výkonu solárneho panela:  
<https://solarnepanelydomov.sk/kolko-solarnych-panelov-potrebujem-na-svoj-dom/>



#### Výroba el. energie fotovoltaikou



#### Cyklus dna s posunom v mesiacoch

