

Technická správa k projektu IMS - Elektro-energetika

Richard Harman (xharma05@stud.fit.vutbr.cz)

Terézia Hundáková (xhunda01@stud.fit.vutbr.cz)

Zadanie

„Prostudujte problematiku výroby, distribúcie a spotreby elektrickej energie. Zvolte si oblasť zájmu a vytvorte model, ktorý sa bude inšpirovať realnými dátami.“

Pri štúdiu problematiky sme sa rozhodli zamerať na časť zadania „Spotreba a hľadanie úspor“.

1 Úvod

V tejto práci sa zameriavame na simuláciu modelu (1) domácej solárnej elektrárne na priemernom českom dome. Zmysel experimentu je následné vyhodnotenie cenovej návratnosti takejto elektrárne. Následne experimentujeme so znížením spotreby v domácnosti a či to ovplyvní návratnosť panelu.

1.1 Zdroje informácií

Na vypracovaní projektu sa podieľali autori Richard Harman a Terézia Hundáková a použili hlavne tieto zdroje:

- Distribučné sadzby (2)
- Štatistiky o českých domácnostiach (3) a (4)
- Návratnosť fotovoltaiiky (5)
- Spotreba vytápania podľa rozlohy (6)
- Cena fotovoltaiickej elektrárne (7)
- Revízie fotovoltaiiky (8)
- Slniečnosť (9) a (10) a efektivita pri oblačnosti (11)
- Virtuálna batéria (12) a (13)

1.2 Validita modelu

Validácia (1) prebehla niekoľkými ľuďmi pracujúcimi v danom odbore aj akademikmi. Model validovali dvaja vyučujúci Strednej odbornej školy technickej v Michalovciach (Slovensko), jeden elektroinštalatér solárnych elektrární a traja elektrotechnici pracujúci na domácich elektroinštaláciách.

2 Rozbor témy a použitých metód a technológií

Rozhodli sme sa namodelovať jeden dom, ktorý predstavuje priemerný dom českej republiky podľa dát z roku 2020. Tomu sme priradili spotrebu bez aj s elektrickým vykurovaním, keďže to robí najväčší rozdiel v elektrickej spotrebe domácnosti. Rozhodli sme sa modelovať elektrárňu s virtuálnou

batériou, keďže tá je najvýhodnejšia vo väčšine prípadov, keďže netreba doma fyzicky udržiavať batériu, ktoré sa môže časom poškodiť a zvyšuje náklady na starostlivosť. Jediná nevýhoda virtuálnej batérie, je v prípade výpadku hlavnej siete. Pre ľudí, ktorí chcú mať samostatný zdroj, je výhodnejšia normálna batéria. Pre náš experiment, je vhodnejšia tá virtuálna. Vybrali sme dva typy elektrární, ktoré sú najčastejšie predávané do domácností. Všetky informácie sú popísané v sekcii 5.1.

Pri modelovaní sme model rozdelili do 4 častí.

Prvá časť sa zameriava na výrobu energie v solárnom paneli. Tam sa rozhoduje či aktuálne je slnečný svit, podľa zdrojových údajov je to 50.7% roku, následne sa rozhoduje či je plné slnko alebo sú na oblohe oblaky. Pri oblakoch klesá podľa zdrojov výroba energie v priemere o 17.5%. Následne vyrobenú energiu posielame do virtuálnej batérie.

Druhá časť modelu je zameraná na spotrebu energie. Tú si rovnomerne rozdelíme podľa ročnej spotreby nášho modelovaného priemerného domu. Spotrebovaná energia sa preferovane odpočítava z virtuálnej batérie, až následne sa berie zo siete.

Tretia časť simuluje poruchy v systéme. Pravdepodobnosť poruchy systému sme odvodili zo zdrojov a je 0.244% a každým rokom sa zvyšuje o 1.1%. Pri poruche následne započítame cenu opravy a vek systému vyresetujeme, keďže predpokladáme výmenu starých častí.

Štvrtá časť systému je simulácia revízie, ktorá je na paneloch povinná každé štyri roky.

2.1 Popis použitých technológií

- Petriho sieť maľovaná v programe draw.io
- OS: Ubuntu on Windows
- IDE: CLion / Visual Studio Code
- Jazyk: C/C++
- Knížnice:
 - simlib (SIMLIB) (14)
 - getopt.h
 - cstdio
 - cstring
 - iostream
 - Cmath

3 Koncepcia

Naším cieľom je zistiť dĺžku návratnosti fotovoltaickej elektrárne a rozdiely návratnosti pri šetrení energie. Experimenty budeme vykonávať na dvoch modelových fotovoltaických elektrárnach a dvoch modelových domoch. Do úvahy nebudeme brať možnú dotáciu od štátu ani infláciu.

Sústava 1: 8 panelov AEG450Wp stojí 150 000 Kč (~6000€) s výrobou 3.6kWp s odkladaním prebytkov do virtuálnej batérie. Cena virtuálnej batérie je 588 Kč ročne. Potenciálne vyrobí za rok 3MWh.

Sústava 2: 14 panelov AEG460Wp stojí 300 000 Kč (~12000€) s výrobou 6.45kWp s odkladaním prebytkov do virtuálnej batérie. Cena virtuálnej batérie je 5988 Kč ročne. Potenciálne elektrárne vyrobí 6MWh.

Dom 1: Priemerný dom v ČR: 91.6m², 3 obyvatelia v domácnosti, 4+1, priemerná spotreba je 3MWh z toho 65% spotrebovaných v zime. Sadzba D02d. Priemerný rast cien bude predpokladané 10% ročne, cena elektriny 8kč za kWh aktuálne, takže 24 000 Kč/ročne (~1000€) približne aktuálne. Započítané osvetlenie a spotrebiče, varenie na indukčnej platni, ohrev vody.

Dom 2: rovnaký dom aj s vytápaním: spotreba 3MWh + 10MWh za topenie na 91.6m². Sadzba D57d. Cena za kWh aktuálne 6.5Kč, takže 84 500 Kč/ročne približne aktuálne (~3500€). Započítané osvetlenie a spotrebiče, varenie na indukčnej platni, ohrev vody, elektrické kúrenie.

Zlyhania: Pre presnosť návratnosti, musíme počítať s chybovosťou zariadení, avšak batéria aj panely majú na sebe záruku, teda neovplyvnia dĺžku návratnosti zariadenia. Viac zaťažená sieť však môže spôsobiť väčšiu šancu poruchy spínačov a káblov. Pravdepodobnosť poruchy je pri spínačoch 0.16% na rok a pri kabeláži 0.1%. Opravy sa v tomto prípade pohybujú priemerne okolo 5 000 Kč. (malé opravy sú približne 1 000 Kč, väčšie môžu vyjsť aj do 10 000+ Kč)

Revízie: Raz za 4 roky je nutná revízia a servis fotovoltickej elektrárne a cena je približne 4000kč pri menšej (sústava 1), a 5000kč pri väčšej (sústava 2).

4 Architektúra simulačného modelu

4.1 Mapovanie abstraktného modelu do simulátoru

V projekte sú implementované 4 generátory type „public Event“. Generate_time(), Generate_Failure(), Generate_Revision(), Generate_Usage(). Každý z nich používa jednu z 4 „Facilities“ Time_f, Failure, Revision, Usage. Tieto 4 procesy generovania následne volajú dané procesy každú danú časovú jednotku. Následne sa v týchto procesoch vykonávajú výpočty.

Príklad Generate_time():

```
class Timing : public Process{
    void Behavior() {
        Seize(Time_f);
        Wait(generatePower);
        Release(Time_f);
    }
};

class Generator_time : public Event{
    void Behavior() {
        times += 1;
        (new Timing)->Activate();
        (new SystemFunctions)->Activate();
        Activate(simlib3::Time + generatePower);
    }
};
```

Následne sa volá SystemFunctions, ktorý rozlišuje či je deň, podľa petriho siete v prílohe Obr. 1.

5 Podstata simulačných experimentov a ich priebeh

5.1 Použijeme zadefinované pojmy z sekcie 3 a spravíme následné experimenty v dĺžke trvania 25 rokov, čo je priemerná životnosť panelu:

Exp. 1: Dom 1 – sústava 1

Exp. 2: Dom 2 – sústava 1

Exp. 3: Dom 2 – sústava 2

Exp. 4: Dom 2 – sústava 1 so znížením teploty v dome o 1°C (zníženie spotreby o 5% podľa ČEZ)

Exp. 5: Dom 2 – sústava 2 so znížením teploty v dome o 1°C (zníženie spotreby o 5% podľa ČEZ)

Exp. 6: Dom 2 – sústava 1 so znížením teploty v dome o 2°C (zníženie spotreby o 10% podľa ČEZ)

Exp. 7: Dom 2 – sústava 2 so znížením teploty v dome o 2°C (zníženie spotreby o 10% podľa ČEZ)

5.2 Spúšťanie experimentov:

Pre ručné spustenie vlastného experimentu sa použijú príkazy v nasledujúcom postupe ak sa nachádzate v priečinku src:

make

./solar [pw] [pp] [hw] [es] [kwp] [fs] [fp] [rp] [of]

Kde parametre znamenajú:

[pw] Sila solárneho panelu v kWp

[pp] Cena sústavy v Kč

[hw] Spotreba domu v kWh

[es] Zníženie spotreby o X %

[kwp] Cena za kilowatt v Kč

[fs] Pravdepodobnosť chyby systému v %

[fp] Cena opravy chyby v Kč

[rp] Cena revízie v Kč

[of] Názov súboru pre zápis súborov

Príklad spustenia teda môže vyzeráť:

make

./solar 3.6 150000 3000 0 8 0.244 5000 4000 exp1.dat

Pre automatické spustenie všetkých nami stanovených experimentov stačí použiť:

make run

5.3 Výsledky experimentov z kapitoly 5.1

Exp. 1: ./solar 3.6 150000 3000 0 8 0.244 5000 4000 exp1.dat

Panely vytvorili: 3330.740729 kWh/ročne

Z virtuálnej batérie sa spotrebovalo: 2958.829433 kWh/ročne

Zo siete sa spotrebovalo: 0.000238 kWh/ročne

V batérii sa nachádza na konci: 8925.871106 kWh

Šetrí ročne: 22723.810048 Kč

Návratnosť: 8.322196 rokov

Exp. 2: ./solar 3.6 150000 13000 0 6.5 0.244 5000 5000 exp2.dat

Panely vytvorili: 3330.740729 kWh/ročne

Z virtuálnej batérie sa spotrebovalo: 3330.739869 kWh/ročne

Zo siete sa spotrebovalo: 9490.855371 kWh/ročne

V batérii sa nachádza na konci: 0.020651 kWh

Šetrí ročne: 20783.816780 Kč

Návratnosť: 9.339574 rokov

Exp. 3: ./solar 6.45 300000 13000 0 6.5 0.244 5000 5000 exp3.dat

Panely vytvorili: 6661.481458 kWh/ročne

Z virtuálnej batérie sa spotrebovalo: 6661.479737 kWh/ročne

Zo siete sa spotrebovalo: 6160.115503 kWh/ročne

V batérii sa nachádza na konci: 0.041301 kWh

Šetrí ročne: 41567.633560 Kč

Návratnosť: 11.396174 rokov

Exp. 4: ./solar 3.6 150000 13000 5 6.5 0.244 5000 5000 exp4.dat

Panely vytvorili: 3330.740729 kWh/ročne

Z virtuálnej batérie sa spotrebovalo: 3330.739508 kWh/ročne

Zo siete sa spotrebovalo: 8849.775971 kWh/ročne

V batérii sa nachádza na konci: 0.029307 kWh

Šetrí ročne: 20783.814531 Kč

Návratnosť: 9.339575 rokov

Exp. 5: ./solar 6.45 300000 13000 5 6.5 0.244 5000 5000 exp5.dat

Panely vytvorili: 6661.481458 kWh/ročne

Z virtuálnej batérie sa spotrebovalo: 6661.479995 kWh/ročne

Zo siete sa spotrebovalo: 5519.035483 kWh/ročne

V batérii sa nachádza na konci: 0.035118 kWh

Šetrí ročne: 41567.635169 Kč

Návratnosť: 11.396174 rokov

Exp. 6: ./solar 3.6 150000 13000 10 6.5 0.244 5000 5000 exp6.dat

Panely vytvorili: 3330.740729 kWh/ročne

Z virtuálnej batérie sa spotrebovalo: 3330.739869 kWh/ročne

Zo siete sa spotrebovalo: 8208.695846 kWh/ročne

V batérii sa nachádza na konci: 0.020651 kWh

Šetrí ročne: 20783.816780 Kč

Návratnosť: 9.339574 rokov

Exp. 7: ./solar 6.45 300000 13000 10 6.5 0.244 5000 5000 exp7.dat

Panely vytvorili: 6661.481458 kWh/ročne

Z virtuálnej batérie sa spotrebovalo: 6661.479736 kWh/ročne

Zo siete sa spotrebovalo: 4877.955978 kWh/ročne

V batérii sa nachádza na konci: 0.041301 kWh

Šetrí ročne: 41567.633554 Kč

Návratnosť: 11.396174 rokov

6 Záver a zhrnutie experimentov

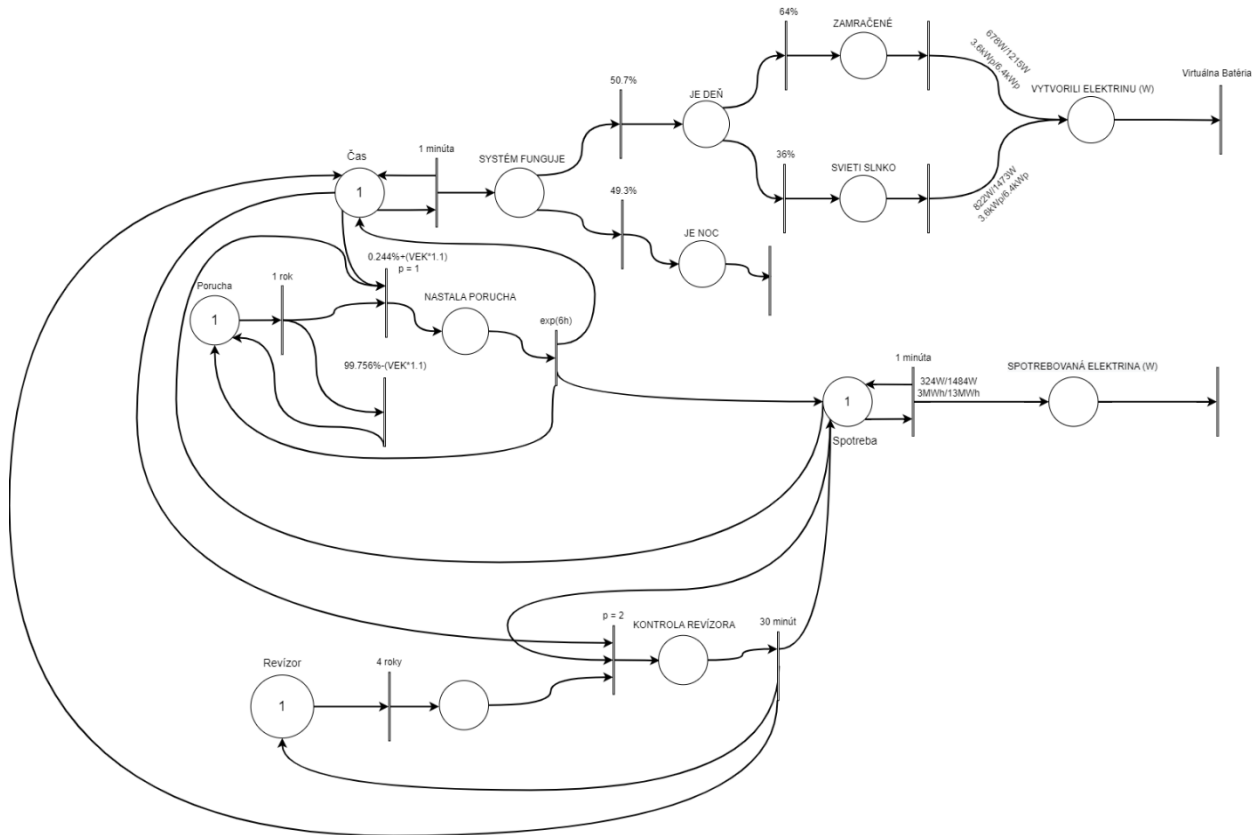
Simuláciu sme ukončili úspešne a dospeli sme k nasledujúcim zisteniam. Návratnosť našich sústav sa pohybovala medzi 8 až 12 rokmi.

V prípade započítania inflácie, ktorú sme v tomto experimente nebrali v úvahu, by výsledná návratnosť klesla, rovnako aj v prípade dotácie od štátu. V tomto prípade by sme sa dokázali dostať na

návratnosť aj polovičnú. Pri priemernej životnosti panelu 25 rokov, a priemernej návratnosti 10 rokov, sa táto investícia pri viac ako 8 panelovej sústave vyplatí.

Taktiež sme odpozorovali, že pri Dome 2 pri znížení spotreby sme nezvýšili návratnosť panelu, ale len znížili náklady na elektrinu zo siete.

Prílohy



Obr. 1 – Návrh celého postupu (Richard Harman, 2022)

Zdroje

1. **Ph.D. Peringer Petr, Dr. Ing. and Hrubý, Ing. Martin.** Modelování a simulace. *fit.vutbr.cz*. [Online] <http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>.
2. **Redakce Kalkulátor.cz.** Jaká je průměrná spotřeba elektřiny v domácnosti? *kalkulator.cz*. [Online] 7 15, 2022. <https://www.kalkulator.cz/clanky/158/jaka-je-prumerna-spotreba-elektřiny-v-domacnosti>.
3. **ČTK, iDNES.cz.** Rodinné domy zdražují, průměrné náklady na stavbu loni přesáhly 3,5 milionu. *idnes.cz*. [Online] 9 29, 2020. https://www.idnes.cz/ekonomika/domaci/rodinny-dum-byt-stavba-naklady-prumer.A200929_143806_ekonomika_mato.
4. **Moravec, Štěpán.** Jak se u nás bydlí. *statistikaamy.cz*. [Online] 4 30, 2020. <https://www.statistikaamy.cz/2020/04/30/jak-se-u-nas-bydli/>.
5. **EON.** Jak dlouhá je návratnost solárních panelů? *eon.cz*. [Online] <https://www.eon.cz/radce/zelena-energie/solarni-energie/jak-dlouha-je-navratnost-solarnich-panelu/>.
6. **dodavatelektriny.** Jak odhadnout spotřebu elektřiny v domácnosti. *dodavatelektriny.cz*. [Online] [Cited: 11 25, 2022.] <https://dodavatelektriny.cz/uzitecne-informace/jak-odhadnout-spotrebu-elektřiny>.
7. **Buček, Zdeněk.** Kolik stojí solární elektrárna na rodinný dům? Záleží na mnoha faktorech.... *elektrickevozy.cz*. [Online] 8 8, 2022. <https://elektrickevozy.cz/clanky/kolik-stoji-solarni-elektřarna-na-dum-fve-fotovoltaika>.
8. **ČECH, JAN.** Dotaz čtenáře: Je třeba pravidelná revize na fotovoltaické panely? *dumazahrada.cz*. [Online] 1 11, 2022. <https://www.dumazahrada.cz/clanek/revize-fotovoltaicke-panely-20220111.html>.
9. Average amount of annual daylight at any place on earth. *astronomy.stackexchange.com*. [Online] 2018. <https://astronomy.stackexchange.com/questions/3625/average-amount-of-annual-daylight-at-any-place-on-earth>.
10. **reddituser.** Sunlight duration in hours per year in Europe and USA [880x1160]. *Reddit.com*. [Online] 2017. <https://i.redd.it/k1xzfc84kwjz.jpg>.
11. **novergysolar.** Do solar panels work in cloudy weather? Find it out. *novergysolar.com*. [Online] 3 16, 2020. <https://www.novergysolar.com/do-solar-panels-work-in-cloudy-weather-find-it-out/#:~:text=Cloudy%20days%20cause%20only%2010,as%20much%20as%20you%20think>.
12. **Buček, Zdeněk.** Virtuální baterie. Vyplatí se, nebo byste se jí měli raději obloukem vyhnout? *elektrickevozy.cz*. [Online] 9 8, 2022. <https://elektrickevozy.cz/clanky/co-je-virtualni-baterie-vyplati-nevyplati-se>.
13. **EON.** Co je to virtuální baterie a jak funguje. *eon.cz*. [Online] [Cited: 11 27, 2022.] <https://www.eon.cz/radce/zelena-energie/solarni-energie/co-je-to-virtualni-baterie-a-jak-funguje/>.