



*Simulační studie*  
**Provoz chaty Triglavski dom na Krederici**

IMS 2018/19 - FIT VUT, BRNO

Dušek Vladimír (**xdusek27**), Andrej Naňo - **xnanoa00**

10. prosince 2018

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>3</b>
1.1	Autoři a zdroje informací . . . . .	3
1.2	Ověřování validity modelu . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Rozbor tématu a použitých metod/technologií</b>	<b>4</b>
2.1	Sumarizace faktů . . . . .	4
2.1.1	Návštěvníci chaty . . . . .	4
2.1.2	Spotřeba energie . . . . .	4
2.1.3	Větrné turbíny . . . . .	5
2.1.4	Fotovoltaické panely . . . . .	5
2.1.5	Akumulátory . . . . .	6
2.2	Použité postupy pro vytvoření modelu a původ použitých metod/technologií . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Koncepce</b>	<b>8</b>
3.1	Způsob vyjádření konceptuálního modelu . . . . .	8
3.2	Forma konceptuálního modelu . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Architektura simulačního modelu</b>	<b>12</b>
4.1	Mapování konceptuálního modelu na simulační . . . . .	12
<b>5</b>	<b>Podstata simulačních experimentů a jejich průběh</b>	<b>13</b>
5.1	Postup experimentování . . . . .	13
5.2	Jednotlivé experimenty . . . . .	13
5.3	Prvotní experimenty . . . . .	13
5.3.1	Přidání větrné turbíny . . . . .	15
5.3.2	Přidání ještě solárních panelů . . . . .	15
5.4	Závěr experimentování . . . . .	16
<b>6</b>	<b>Shrnutí simulačních experimentů a závěr</b>	<b>17</b>

# 1 Úvod

V projektu jsme modelovali a simulovali<sup>1</sup> provoz horské chaty Triglavski Dom na Kredarici<sup>2</sup>. Jedná se o horskou chatu v Julských Alpách ve Slovinsku. Chata se nachází pod vrcholem hory Triglav ve výšce 2515 m n. m. a tvoří záchytný bod pro většinu turistů, kteří se vydají horu zdolat.

Chata je kompletně odříznutá od civilizace, nedá se k ní dostat jinak než pěšky nebo vrtulníkem. Pochopitelně nevede k ní ani vedení zvlášť vysokého napětí. U chaty se nachází dvě větrné turbíny a společně se solárními panely na střeše jsou jediným zdrojem elektrické energie pro chatu a její návštěvníky. Ta se využívá na svícení, topení, provoz restaurace a podobně.<sup>3</sup>

V práci se zabýváme produkcí energie těchto dvou zdrojů v daných podmínkách. Zvažujeme možná rizika technické závady elektráren, vliv nepříznivého počasí, či životnost akumulátorů. Na základě modelu<sup>4</sup> a simulačních experimentů<sup>5</sup> bude ukázán poměr produkce a výdeje energie. Z toho vyvodíme jak často hrozí, že by chata byla bez elektřiny. Ať už vlivem špatného počasí, technických problémů, či nadměrné spotřeby energie.

Smyslem experimentů je demonstrovat, že pokud by se přistavěli další zdroje energie, zvýšila by se kapacita akumulátorů, či by probíhali častější technické kontroly, tak by se zvýšila stabilita elektřiny.

## 1.1 Autoři a zdroje informací

Simulační studii vypracovali Vladimír Dušek a Andrej Naňo. Při tvorbě projektu byly využity znalosti nabyté v předmětu IMS. Pro zpracování modelu bylo nutné nastudovat princip větrných a fotovoltaických elektráren, zejména vliv počasí na jejich chod a akumulátory vhodné pro skladování energie z těchto zdrojů. Dále zjistit kolik turistů chatu během roku navštěvuje a jak je její provoz energeticky náročný. Informace jsme hledali na internetu, v každém odstavci jsou pak přesné odkazy na články, na jejich základě jsme danou informaci získali. Také jsme využili osobních zkušeností jednoho z autorů, který chatu navštívil.

## 1.2 Ověřování validity modelu

Problém validity modelu<sup>6</sup> jsme řešili konfrontací předpokládaných hodnot s hodnotami vystupujícími z našeho simulačního modelu. Vstupní hodnoty jsme optimalizovali na základě simulačních experimentů s modelem. Po dosažení relativně uspokojivě přesných výsledků jsme systém prohlásili za dostatečně validní.

Verifikace modelů<sup>7</sup> proběhla v kapitole 4, kde jsme ukázali mapování struktur/entit abstraktního modelu na třídy simulačního modelu.

---

<sup>1</sup><https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>, slide 8

<sup>2</sup>[https://en.wikipedia.org/wiki/Triglav\\_Lodge\\_at\\_Kredarica](https://en.wikipedia.org/wiki/Triglav_Lodge_at_Kredarica)

<sup>3</sup><https://www.summitpost.org/kredarica-hut-triglavski-dom-na-kredarici/349588>

<sup>4</sup><https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>, slide 7

<sup>5</sup><https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>, slide 9

<sup>6</sup><https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>, slide 10

<sup>7</sup><https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>, slide 36

## 2 Rozbor tématu a použitých metod/technologií

### 2.1 Sumarizace faktů

#### 2.1.1 Návštěvníci chaty

Slovinské hory navštíví ročně kolem 1.7 milionu turistů.<sup>8</sup> Drtivá většina takto učiní v hlavní sezóně, období červen – září. V době Slovinských prázdnin je pak špička úplně největší a na Triglav vystoupá až 2000 lidí za víkend.<sup>9</sup> Po zbytek hlavní sezóny uvažujeme 1500 lidí za víkend. Ve všední dny pak počítáme s polovinou turistů. Délka hlavní sezóny jsou 4 měsíce (17 týdnů).

$$8.5 * 2 * 1000 = 17000$$

$$8.5 * 5 * 500 = 21250$$

$$8.5 * 2 * 750 = 12750$$

$$8.5 * 5 * 375 = 15937$$

$$17000 + 21250 + 12750 + 15937 = 66937$$

$$66937 / (17 * 7) = 562$$

V průběhu hlavní sezóny navštíví Triglav kolem **562** lidí denně. Mimo sezónu uvažujeme desetinu turistů, tedy **56** lidí denně.

Kapacita chaty pro přenocování je až **350** lidí. Restaurace může pojmout naráz zhruba **50** zákazníků.<sup>10</sup>

Na úpatí hory jsou další dvě chaty, ty jsou ale podstatně menší a mají menší kapacitu. Předpokládáme, že Triglavski Dom navštíví **2/3** všech turistů. Na Triglav vede mnoho cest. Všechny jsou standardně dvoudenní, pouze velmi zkušené horolezci zvládnou celý výstup za jeden den.<sup>11</sup> Jelikož Triglav je hora pro širší veřejnost, uvažujeme, že pro přenocování se rozhodne **4/5** turistů. Ty na chatě zůstanou dobu definovanou normálním rozdělením se středem **12** hodin. Zbytek se na chatě zastaví pouze krátce, dobu definovanou normálním rozdělením se středem **3** hodiny.

Bereme v potaz i situaci, kdy by na chatě nešla elektřina. To by znamenalo značné omezení fungování restaurace a hlavně zimu. Předpokládáme, že by to malé množství návštěvníků chaty odradilo. Buď by se na základě toho rozhodli pro jednodenní výstup, využili by služeb jiné chaty, nebo se vrátili zpět do údolí. Takto by se podle našich odhadů zachovalo **10%** zákazníků.

#### 2.1.2 Spotřeba energie

Na základě grafu<sup>12</sup> jsme určili spotřebu energie hosta za noc. Bude se řídit normálním rozdělením se středem **20 kWh** (70MJ). Bereme výrazně nižší hodnotu, než je průměr, protože se jedná o horskou chatu, ne standardní hotel. U návštěvníků, kteří se zastaví pouze na kratší odpočinek bude spotřeba velmi nízká a uvažujeme normální rozložení se středem **5 kWh** (70MJ).

Chata sama o sobě spotřebuje nějakou energii, i bez zákazníků. Například topit a svítit se bude do jisté míry i pro personál. Průměrný americký hotel spotřebuje 14 kWh na  $ft^2$  ročně.<sup>13</sup> Na základě této úměry odhadujeme spotřebu naší chaty na **180 kWh** denně.

<sup>8</sup><https://www.rtvsllo.si/news-in-english/every-year-1-7-million-hikers-visit-slovenia-s-mountains/>  
462870

<sup>9</sup><https://www.explore-share.com/blog/climbing-mount-triglav-slovenia/>

<sup>10</sup><https://www.summitpost.org/kredarica-hut-triglavski-dom-na-kredarici/349588>

<sup>11</sup><https://www.hedvabnastezka.cz/zeme/evropa/slovinsko/29363-vystup-na-triglav-cestou-cez-prag-trail/>

<sup>12</sup><https://www.statista.com/statistics/195728/average-energy-consumption-per-guest-night-in-hotels-by-continent/>

<sup>13</sup>[https://www.mge.com/saving-energy/business/bea/article\\_detail.htm](https://www.mge.com/saving-energy/business/bea/article_detail.htm)

### 2.1.3 Větrné turbíny

Větrné turbíny začínají produkovat energii při rychlosti větru 4 až 5 metrů za sekundu a maximálního výkonu dosahují při rychlosti 15 metrů za sekundu. Naopak při velmi silném větru nad 25 metrů za sekundu se turbíny vypínají.<sup>14</sup> Na základě informací z<sup>15</sup> <sup>16</sup> jsme sestavili tabulku 1 produkce energie turbíny dle síly větru.

Síla větru [km/hod]	Produkce energie jedné turbíny [kWh/hod]
0 - 4.5	0
4.5 - 10	0.1
10 - 20	0.2
20 - 30	0.4
30 - 54	0.8
54 - 90	1
90 +	0

Tabulka 1: Produkce energie větrné turbíny v závislosti na síle větru

Sílu větru v naší lokalitě generujeme jako normální rozložení se středem 40 km/hod.

Větrná turbína je odstavena kvůli technickým závadám v průměru 170 hodin za rok.<sup>17</sup>

### 2.1.4 Fotovoltaické panely

Pomocí Google Maps jsme naměřili rozměry chaty.<sup>18</sup> Ty činí  $30\text{ m} * 23\text{ m} * 10\text{ m}$ . Dále jsme usoudili, že průměrná výška střechy (není z obou stran stejná) může být 6m. Vypočítali jsme druhý rozměr střechy  $\sqrt{9^2 + 6^2} \approx 10.8\text{ m}$ . Z těchto rozměrů jsme už vypočítali celkovou plochu střechy  $2 * 10.8 * 24 \approx 518\text{ m}^2$ . Z obrázků chaty jsme usoudili, že solární panely mohou být nainstalovány zhruba na  $3/4$  střechy.<sup>19</sup> Celkově tedy máme  **$389\text{ m}^2$**  solárních panelů. Solární panely mají průměrně velikost  $165\text{ cm} * 99\text{ cm} \approx 16.3\text{ m}^2$ <sup>20</sup> Na střeše chaty se tedy nachází asi **24** solárních panelů.

<sup>14</sup><http://www.ewea.org/wind-energy-basics/faq/>

<sup>15</sup><https://www.engineering.com/ElectronicsDesign/ElectronicsDesignArticles/ArticleID/9556/Rooftop-Wind-Turbines-Are-They-Worthwhile.aspx>

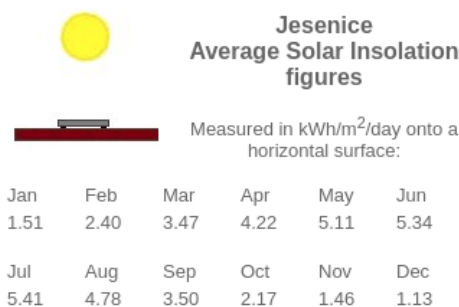
<sup>16</sup>[https://www.meteoblue.com/en/weather/forecast/modelclimate/kredarica\\_slovenia\\_3197311](https://www.meteoblue.com/en/weather/forecast/modelclimate/kredarica_slovenia_3197311)

<sup>17</sup><https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/59111.pdf>

<sup>18</sup><https://goo.gl/maps/Mey2s4gSWC82>

<sup>19</sup><https://goo.gl/images/nLK9Lp>

<sup>20</sup><https://www.solarpowerrocks.com/solar-basics/how-much-electricity-does-a-solar-panel-produce/>



Obrázek 1: Produktovaná energie solárních panelů

Na obrázku 1 je zachycena produkce energie solárních panelů na základě geografické polohy a jejich nasměrování vůči Slunci.<sup>21</sup> Na základě těchto dat, jsme spočítaly produkci energie všech panelů dle měsíců v roce.

Měsíc	Produkce energie jednoho panelu [ <i>Kwh</i> /den]
leden	24.6
únor	39.1
březen	56.6
duben	68.8
květen	83.3
červen	87
červenec	88.2
srpen	77.9
září	57
říjen	35.4
listopad	23.8
prosinec	18.4

Tabulka 2: Produkce energie solárních panelů v závislosti na měsíci

Poruchovost solárních panelů je velmi nízká, v průměru 0.05%. Jednou z hlavních příčin ovšem je silný vítr.<sup>22</sup> My se ovšem nacházíme v lokalitě kde je vítr extrémně silný, budeme tedy uvažovat až 4x větší poruchovost, tedy **0.2%**.<sup>23</sup> Výměna solárního panelu by mohla trvat řádově měsíce, uvažujeme **3**.

### 2.1.5 Akumulátory

Skladování energie není úplně snadná záležitost. Uvažujeme, že **9/10** energie co uložíme budeme moci opět využít.<sup>24</sup> Velikost akumulátorů v chatě odhadujeme celkem na **5000 kWh**.<sup>25</sup>

<sup>21</sup>[http://solarelectricityhandbook.com/solar-irradiance.html?fbclid=IwAROW-VqbCV1noK\\_vQZ14-U8a4ibCUvSwaAoGBONu52Dbzsnx\\_cmy2J1QMKU](http://solarelectricityhandbook.com/solar-irradiance.html?fbclid=IwAROW-VqbCV1noK_vQZ14-U8a4ibCUvSwaAoGBONu52Dbzsnx_cmy2J1QMKU)

<sup>22</sup><https://news.energysage.com/average-solar-panel-failure-rate/>

<sup>23</sup><http://www.meteocentrale.ch/en/europe/slovenia/weather-kredarica/details/S140080/>

<sup>24</sup><https://www.energysage.com/solar/solar-energy-storage/what-are-the-best-batteries-for-solar-panels/>

<sup>25</sup><https://www.wholesalesolar.com/solar-information/battery-bank-sizing>

## 2.2 Použité postupy pro vytvoření modelu a původ použitých metod/technologií

Pro tvorbu simulačního modelu byl použit jazyk C++ s knihovnou SIMLIB.

- C++  
<http://www.cplusplus.com/>
- SIMLIB  
<http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/>

Použité konstrukce a algoritmy jsou převážně inspirovány studijními materiály předmětu IMS.

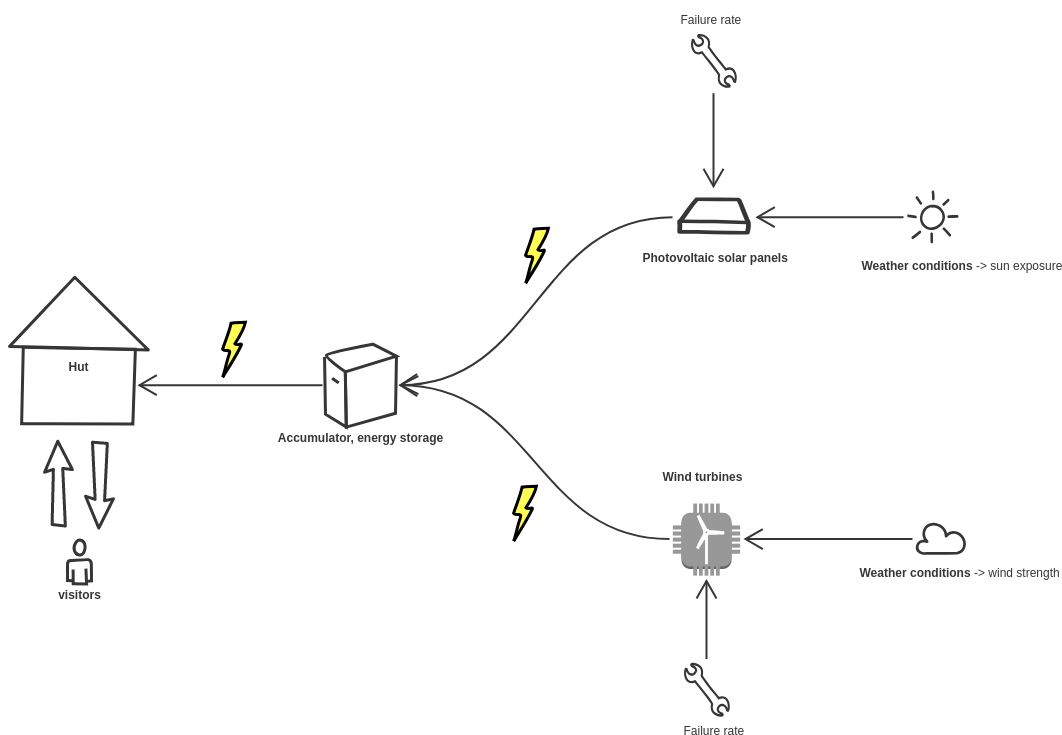
- IMS prezentace  
<https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>
- První democvičení  
<http://perchta.fit.vutbr.cz:8000/vyuka-ims/uploads/1/ims-demo1.pdf>
- Druhé democvičení  
<http://perchta.fit.vutbr.cz:8000/vyuka-ims/uploads/1/diskr2-2011.pdf>
- Dokumentace SIMLIB  
<http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/doc/SimLib-doc-2.ps>
- Doxygen dokumentace SIMLIB  
<https://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/doc/html/>
- Příklady SIMLIB <http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/examples/>

## 3 Koncepce

V následující kapitole je definován konceptuální model<sup>26</sup>, který jsme vytvořili na základě faktů systému představených v předcházející kapitole. Na základě konceptuálního modelu jsme následně vytvořili model simulační<sup>27</sup>.

### 3.1 Způsob vyjádření konceptuálního modelu

Následující schéma prezentuje systém jako celek. Tento systém budeme dále dělit na podsystémy a modelovat pomocí Petriho sítí<sup>28</sup>.



Obrázek 2: Schéma systému

### 3.2 Forma konceptuálního modelu

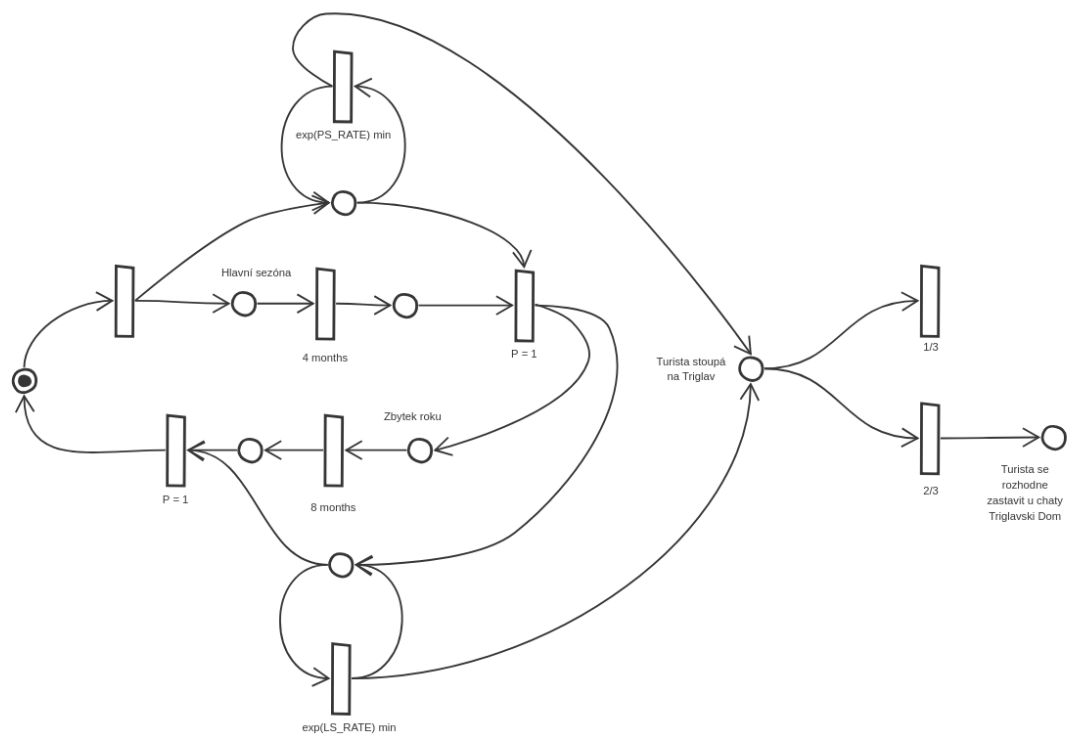
Na dalších obrázcích jsou zachyceny jednotlivé podsystémy modelované Petriho sítí.

<sup>26</sup><https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>, slide 48

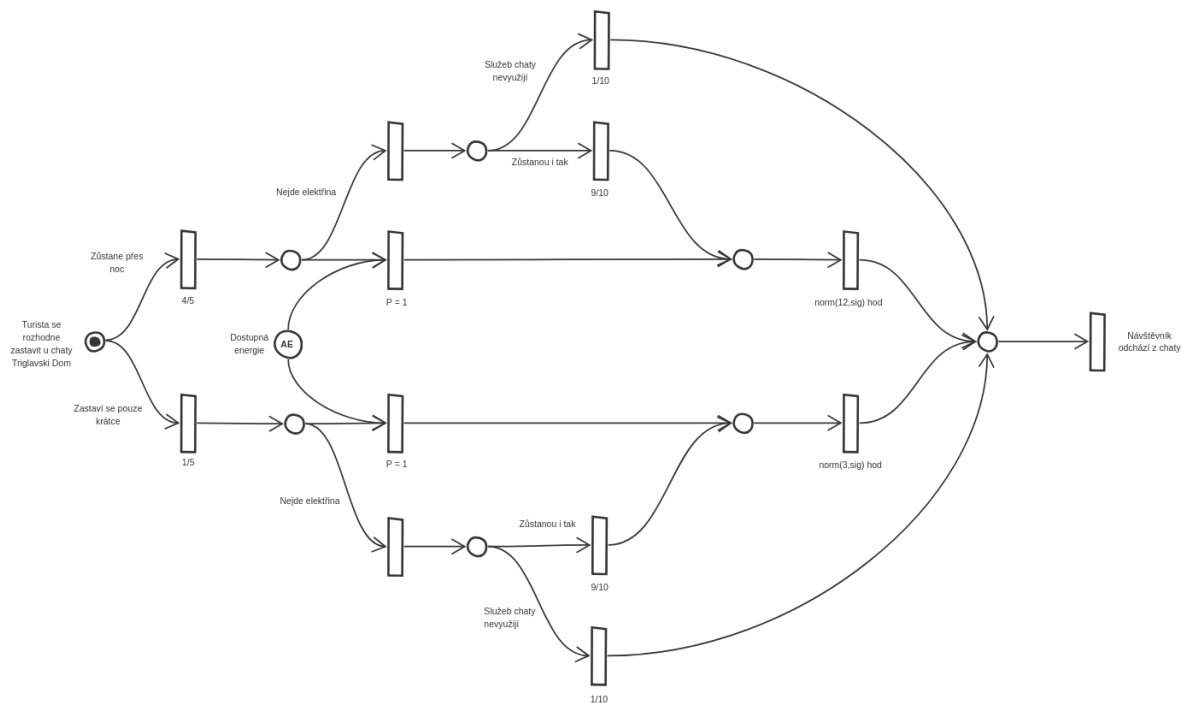
<sup>27</sup><https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>, slide 44

<sup>28</sup><https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>, slide 123

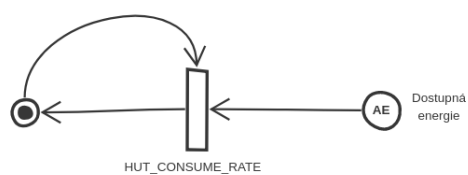




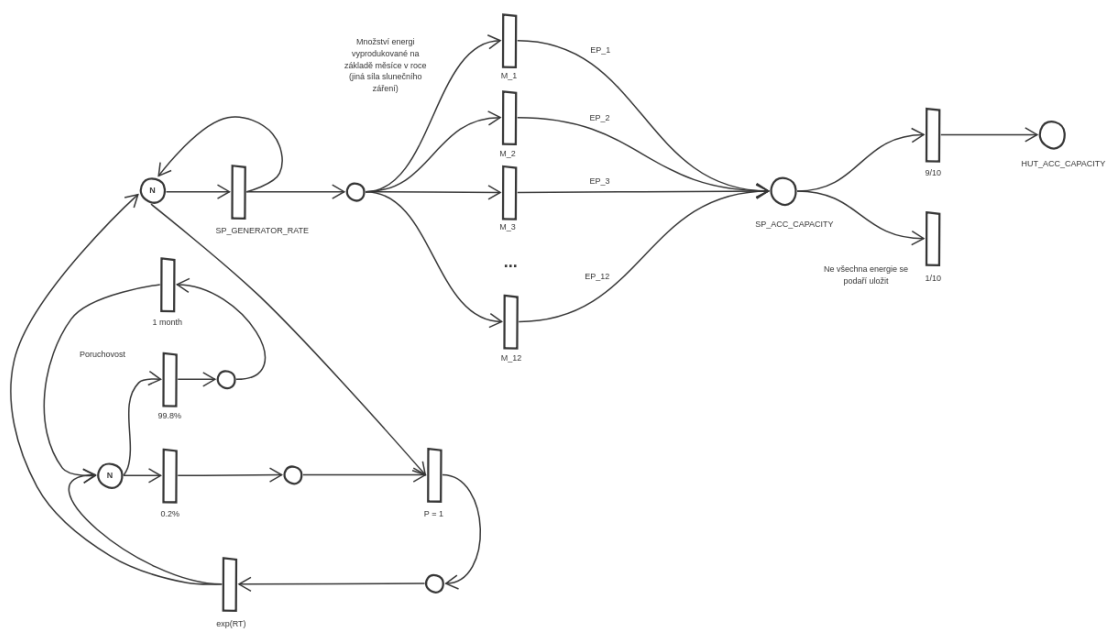
Obrázek 3: Generování turistů



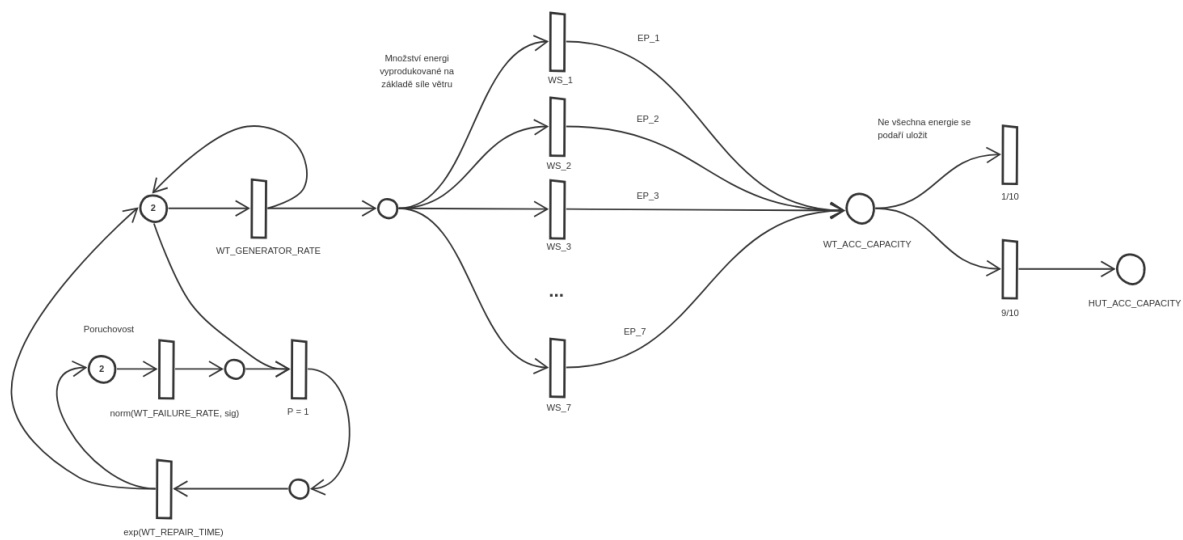
Obrázek 4: Návštěvník v chatě



Obrázek 5: Energie potřebná pro základní chod chaty



Obrázek 6: Energie generovaná solárními panely



Obrázek 7: Energie generovaná větrnými turbínami

## 4 Architektura simulačního modelu

### 4.1 Mapování konceptiálního modelu na simulační

V tabulce 3 je zobrazeno mapování jednotlivých entit konceptuálního modelu na třídy simulačního modelu.

Entita v konceptuálním modelu	Třída v simulačním modelu
Transakce změny sezóny	SeasonChange
Transakce návštěvníka	Visitor
Transakce energie větrné turbíny	WT_Energy
Transakce chyby větrné turbíny	WT_Failure
Transakce energie solárního panelu	SP_Energy
Transakce chyba solárního panelu	SP_Failure
Přesun energie z akumulátoru do chaty	EnergyFlow
Transakce fungování chaty	Hut
Generátor návštěvníků v hlavní sezóně	PeakSeasonVisitorGenerator
Generátor návštěvníků mimo hlavní sezónu	LowSeasonVisitorGenerator
Generátor energie z větrné turbíny	WindTurbineGenerator
Generátor poruchy větrné turbíny	WindTurbineFailureGenerator
Generátor energie ze solárního panelu	SolarPanelsGenerator
Generátor poruchy solárního panelu	SolarPanelsFailureGenerator
Generátor využívání energie chatou	EnergyUsageGenerator
Přesunutí energie do akumulátoru	FlowGenerator

Tabulka 3: Mapování konceptuálního modelu na simulační

## 5 Podstata simulačních experimentů a jejich průběh

Cílem experimentů bylo zjistit jak často je chata bez energie a o kolik se tím potenciálně připravujeme zákazníků. Dále jaké jsou možnosti řešení dobu bez energie minimalizovat. Ať už přistavěním dalšího zdroje energie, či zvýšením kapacity akumulátorů.

### 5.1 Postup experimentování

Nejprve simulujeme provoz chaty s údaji které maximálně odrážejí současnost pro několik let běžného provozu. Můžeme se zaměřit pouze na hlavní sezónu, kdy je nápor největší. Hrozí nejvíce výpadků energie a taky mají nejhorší následky, přicházíme o zákazníky. Analyzujeme potenciální ztrátu zákazníků, dobu po kterou jsou akumulátory zaplněné a dobu po kterou jsme bez energie.

Pro další experimentování jsme zvýšili počet větrných turbín a přistavěli další solární panely, střecha chaty není úplně zaplněná.

### 5.2 Jednotlivé experimenty

### 5.3 Prvotní experimenty

Na základě statistik 8 z prvního experimentu jsme zjistili, že náš model dává podivné výsledky při generování energie. Konkrétně, že jediný solární panel generuje daleko více energie než jedna větrná turbína. Pravděpodobně jsme udělali někde chybu při sbírání faktů. Generování energie větrnou turbínou jsme zvýšili.

```
+-----+
| STATISTIC Energy generated by wind turbines |
+-----+
| Min = 0                                Max = 83 |
| Number of records = 210240             |
| Average value = 48.7062                 |
| Standard deviation = 17.6815            |
+-----+
+-----+
| STATISTIC Energy generated by solar panels |
+-----+
| Min = 63                                Max = 306 |
| Number of records = 2522880             |
| Average value = 190.573                  |
| Standard deviation = 87.0823             |
+-----+
```

Obrázek 8: Výsledky experimentu 1

Na základě statistik 9 z druhého experimentu jsme zjistili, že zákazníci si berou příliš mnoho energie. Pravděpodobně jsme špatně odhadli spotřebu na zákazníka, kterou jsme zakládali na průměrné spotřebě hotelů (viz kapitola 2). Spotřebu návštěvníků jsme snížili na 4.5 kWh pro noc a 1.0 kWh pro den.

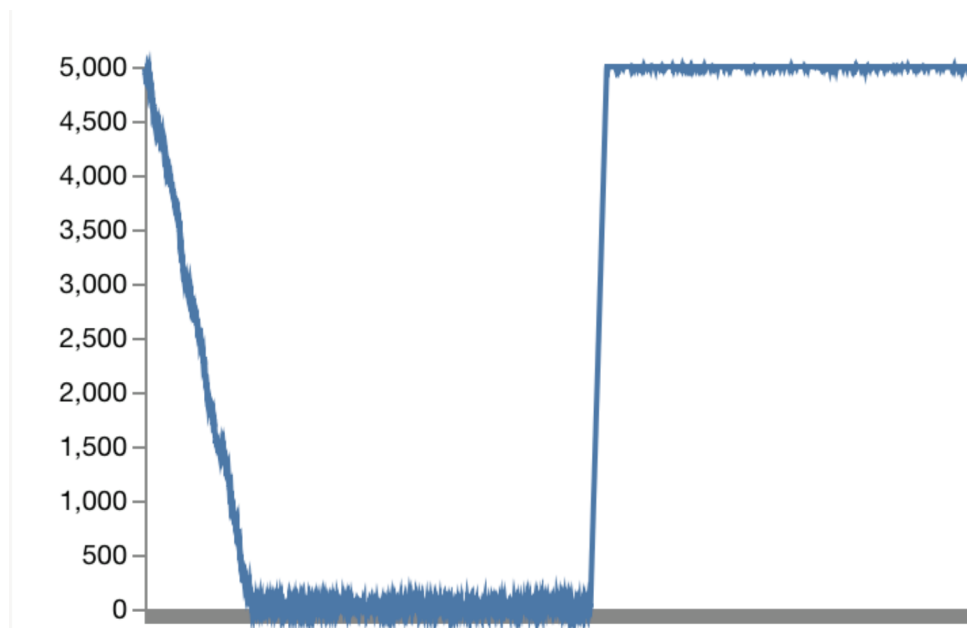
```

+-----+
| STATISTIC Number of guests in the hut at the same time |
+-----+
|   Min = 1                               Max = 185       |
|   Number of records = 525600              |
|   Average value = 54.3021                 |
|   Standard deviation = 58.6799            |
+-----+
| STATISTIC Energy need per visitor         |
+-----+
|   Min = 0                               Max = 6369.79    |
|   Time = 0 - 3.1536e+10                  |
|   Number of records = 49404              |
|   Average value = 1625.7                 |
+-----+
| STATISTIC Visitors per day               |
+-----+
|   Min = 18                               Max = 414       |
|   Number of records = 365                |
|   Average value = 135.353                |
|   Standard deviation = 145.575           |
+-----+

```

Obrázek 9: Výsledky experimentu 2

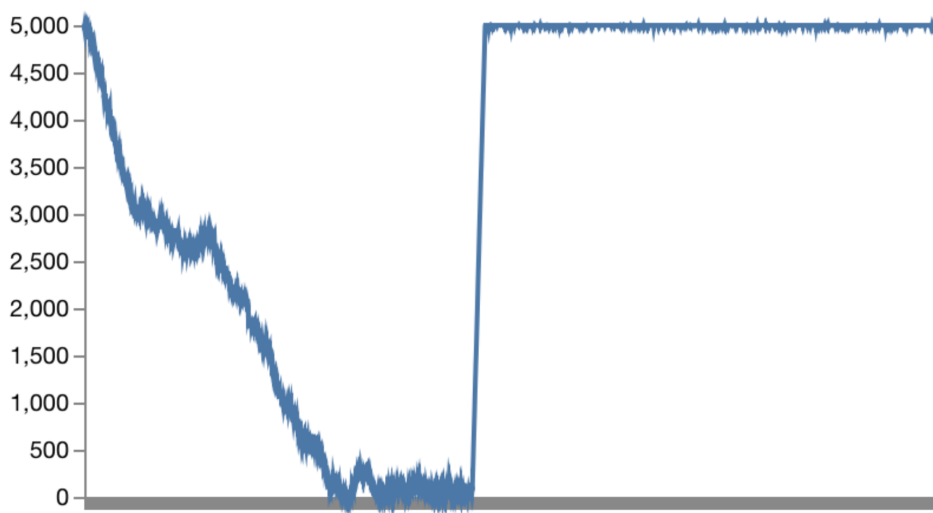
Na základě grafu z obrázku 10 jsme zjistili, že v půlce hlavní sezóny energie dojde a již se ji nepodaří doplňovat. Půlku sezóny tedy bude chata kompletně bez energie. Mimo hlavní sezónu je výdaj výrazně nižší, proto dostupná energie bude téměř stále na maximu.



Obrázek 10: Množství energie v průběhu roku

### 5.3.1 Přidání větrné turbíny

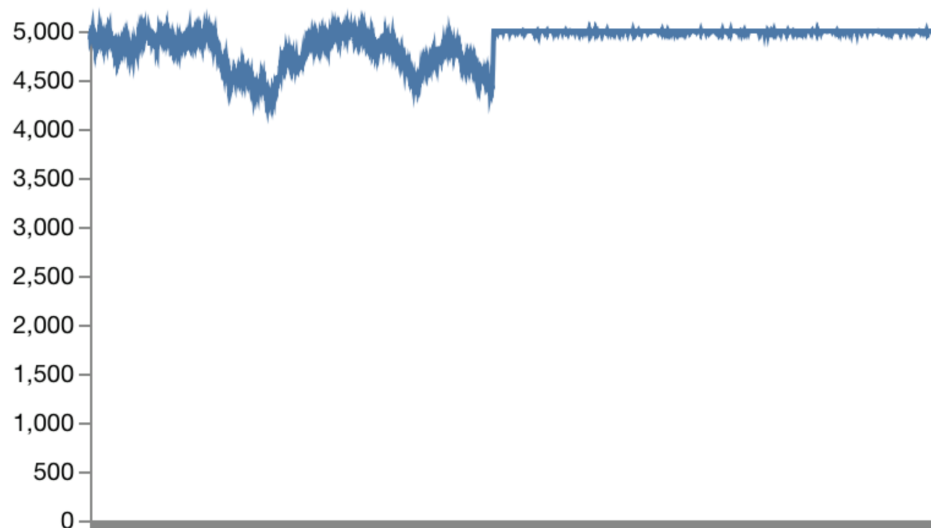
Stav v případě, že bychom se rozhodli postavit další větrnou turbínu je zachycen na obrázku 11. Přistavění větrné turbíny by situaci vyřešilo pouze částečně.



Obrázek 11: Množství energie v průběhu roku (+1 turbína)

### 5.3.2 Přidání ještě solárních panelů

Stav v případě, že bychom se rozhodli přidat ještě jeden solární panel je zachycen na obrázku 12. Vidíme, že přistavět jeden panel stačí a situace je vyřešena. Chata bude mít stabilně energii po celý rok.



Obrázek 12: Množství energie v průběhu roku (+1 turbína a +1 panel)

## 5.4 Závěr experimentování

Z experimentů jsme zjistili, že naše posbíraná data nemusela být naprosto korektní. Někde došlo k nějaké nepřesnosti a nejprve nám vycházeli nesmysli. Postupně jsme upravovali produkci energie větrnou turbínou a spotřebu návštěvníka chaty.

Na dalších experimentech jsme se zjišťovali přidávání zdrojů energie. Ideální případ by byl přistavět jednu větrnou turbínu a jeden solární panel. Již to by stačilo pro zajištění stability energie po celý rok.



## 6 Shrnutí simulačních experimentů a závěr

Na simulačním modelu jsme prováděli řadu experimentů. Nejprve jsme vyladili hodnoty, díky kterým jsme model přivedli do validního stavu. Větrné turbíny produkovali velmi málo energie a spotřeba zákazníka chaty byla nereálně vysoká, na což jsme přišly na základě experimentování. Dalším experimentováním jsme zjistili potenciální možnosti udržení stability energie na chatě a tím se vyhnout ztrátám energie a tím i ztrátám zákazníků.

V rámci projektu vznikl simulační nástroj pro provoz horské chaty. Dalšími bychom mohli například zjišťovat z ekonomického aspektu, či se nám vyplatí stavět další solární panely, či větrné turbíny. Dale například či by se vyplatilo zvyšovat kapacitu chaty.