

**FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

IMS - Modelování a simulace

Ohrev vody v rodinnom dome solárnym systémom.

2019

Juraj Holub (xholub40)

Matej Parobek (xparob00)

Obsah

1	Úvod	2
1.1	Zdroje infomácií a autori práce	2
1.2	Validácia navrhovaného modelu	2
2	Rozbor navrhovaného systému a použitých technológií	2
2.1	Postup požitý pre vytvorenie modelu	3
2.2	Povod použitých technológií	3
3	Konceptuálny model	3
3.1	Schéma navrhovaného systému	3
4	Architektúra programu	5
4.1	Ročný cyklus	5
4.2	Riadiace procesy	5
4.3	Tabuľkové hodnoty	5
4.4	Používanie programu	6
5	Simulačné experimenty	6
5.1	Experiment 1	6
5.2	Experiment 2	7
5.3	Experiment 3	7
5.4	Záver experimentov	8
6	Záver	8
A	Tabuľkové hodnoty pre návrh solárnej tepelnej techniky	10

1 Úvod

Stavebníctvo má v dnešnej dobe veľký dopad na životné prostredie. Spôsob získavania tepelnej energie pre ohrev obytných objektov pomocou alternatívnych zdrojov produkuje nezanedbateľne menšie množstvo CO₂ spalín. Táto práca analyzuje systém na ohrev vody pomocou solárneho panelu, ktorý ohrieva zásobník s vodou. Výsledok práce je zhodnočenie dopadu získavania tepelnej energie zo solárnych panelov na životné prostredie oproti získavaniu tepla spaľovaním zemného plynu a vyhodnotenie efektívnosti navrhovaného systému.

1.1 Zdroje informácií a autori práce

Postupy a výpočetné vzťahy pre návrh konkrétneho solárneho systému boli použité s odbornej publikácie [1] určenej projektantom solárnej techniky. Pre validáciu návrhu bola použitý konkrétny navrhovaný projekt publikovaný v nasledujúcej práci [3]. Referenčný návrh vytvoril vedecký pracovník Energetického ústavu Fakulty strojního inženýrství VUT v Brne Ing. Ján Tuhovčák, Ph.D. ako záverečnú prácu a úspešne ju obhájil s klasifikáciou A. Simulačný model vytvorili Juraj Holub A Matej Parobek na základe týchto informácií.

1.2 Validácia navrhovaného modelu

Výsledky našeho návrhu sú korelované s ročným vyhodnotením z hľadiska energetických nárokov objektu, ktoré poskytuje referenčný návrh. Naše výsledky pre rovnaké časové obdobie sa zhodovali s týmito podkladmi. Z tohto hľadiska bol model vyhodnotený ako validný.

2 Rozbor navrhovaného systému a použitých technológií

V rodinnom dome je v prevádzke systém na ohrev vody pomocou zemného plynu s bežným kotlom. Denná spotreba teplej vody je približne 50 l na osobu. V rodinnom dome zo 4 obyvateľmi sa spotreba tepla na ohrev vody pohybuje okolo 3 700 kWh za rok. Spotreba je rovnomerná po celý rok, nezávislo od ročného obdobia. Naopak produkcia tepelnej energie pomocou solárnych panelov je závislá na ročnom období. Pre daný solárny panel a rodinný dom miestom v Brne je produkcia tepla pre jednotlivé kalendárne mesiace závislá od nasledujúcich faktorov:

- Počet dní v mesiaci.
- Objem zásobníka na vodu.
- Sklon solárnych panelov, ich plocha a orientácia (juh).
- Teoreticky dopadajúca slnečná energia (príloha A, obrázok 2).
- Pomerná dĺžka slnečného svitu (príloha A, obrázok 3).
- Stredná teplota vzduchu (príloha A, obrázok 4).
- Stredná intenzita slnečného žiarenia (príloha A, obrázok 5).

Ak solárna energia v danom mesiaci nepostačuje na pokrytie spotrebovaného tepla tak sa požadovaná energia získava sekundárnym zdrojom, ktorým je plynový kotol. Na druhej strane, prebitky solárnej energie sa v navrhovanom systéme vôbec nevyužívajú. Navrhovaný solárny systém neprodukuje žiadne spaliny CO₂. Naproti tomu, spaľovanie plynu produkuje 202g CO₂ spalín¹ na 1 kWh vyprodukovaného tepla. Podľa referenčnej práce sú emisie spojené s vybudovaním solárneho systému porovnatelné s emisiami na vybudovanie pôvodného systému. S tohto dôvodu emisie spojené s vybudovaním systému táto práca neuvažuje.

¹Zdroj <https://www.oplyne.info/ecology/porovnanie-produkcie-znecistujucich-latok...>

2.1 Postup požitý pre vytvorenie modelu

Zo získaných vstupných informácií bol vytvorený abstraktný model (IMS [2] slide 9.). Pre popis časového priebehu bol použitý abstraktný model vo forme Petriho siete (IMS [2] slide 123.). Pre popis produkcie a spotreby tepelnej energie bol vytvorený abstraktný model vo forme algebraických rovníc. K výslednému abstraktnému modelu bol vytvorený ekvivalentný simulačný model (IMS [2] slide 44.) v programovacom jazyku C++ za použitia knihovny **SIMLIB**². Knihovna bola zvolená s ohľadom na zložitosť modelu. Použitie robustnejšej knihovny by vzhľadom na náročnosť abstraktného modelu bolo neprimerané. Táto knihovna poskytuje základné prostriedky pre diskrétné modelovanie (IMS [2] slide 44.) ako sú procesy (IMS [2] slide 121.) alebo obslužné linky (IMS [2] slide 138.) a to pomocou prostriedkov Objektovo Orientovaného Programovania (OOP).

2.2 Povod použitých technológií

Na vytvorenie Petriho sieťe boli využité postupy preberané na predmete IMS [2] v kapitole *Diskrétní simulace*. Použité algebraické vzťahy boli prevzaté s nasledujúcej knihy [1]. Simulačný model bol implementovaný v jazyku C++ za použitia OOP abstrakcie a funkcionality zo štandardnej knihovny pre štandard z roku 2014. Program je prekladaný pomocou GNU C++ prekladača g++³. Knihovnu SIMLIB je využívaná pod licenciou GNU LGPL⁴.

3 Konceptuálny model

Na základe rozboru navrhovaného systému bol vytvorený konceptuálny model (IMS [2] slide 48.) popísaný v tejto kapitole. Najmenšia časová jednotka v modeli je jeden deň. Takáto jednotka bola zvolená preto, že vyprodukované teplo a zároveň jeho spotreba v systéme je počítaná na základe tabuľkových hodnôt vždy pre časové obdobie jeden deň. Pre zmysluplné zhodnotenie výstupov musí model simulať čas minimálne v rádoch rokov. V opačnom prípade by samotná výstavba alternatívneho zdroja energie vyprodukovala väčšiu záťaž na životné prostredie ako úspora získaná jeho používaním.

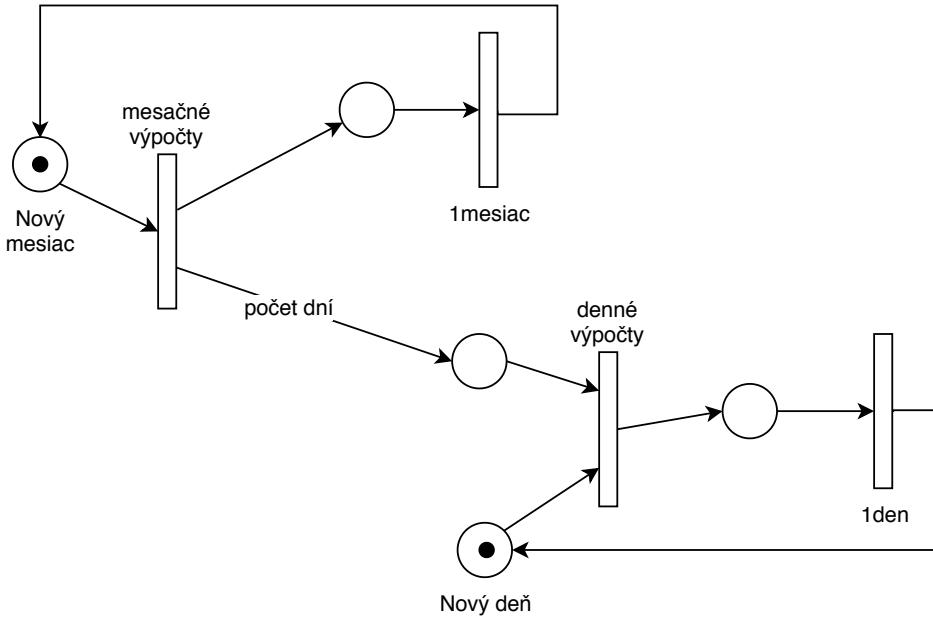
3.1 Schéma navrhovaného systému

Časť konceptuálneho modelu, ktorá reprezentuje časový priebeh modelu pomocou Petriho siete je priložená na obrázku 3.1. Stav (IMS [2] slide 123.) *Nový mesiac* má na začiatku jedenu značku. Táto značka okamžite prechádza do prechodu *mesačné výpočty*, kde prebiehajú algebraické výpočty relevantné pre aktuálny mesiac, ktoré sú popísané ďalej v tejto sekcií. Značka sa presne za mesiac vracia do stavu *nový mesiac* a výpočet prebieha pre ďalší kalendárny mesiac. Prechod z *mesačné výpočty* taktiež vygeneruje množstvo značiek rovné počtu dní aktuálneho mesiaca. Tieto značky postupne (t.j. každý deň v mesiaci) vykonajú prechod *denné výpočty*. V tomto prechode prebiehajú algebraické výpočty relevantné pre aktuálny kalendárny deň.

²Project SIMLIB: <http://www.fit.vutbr.cz/peringer/SIMLIB/.cs>

³GNU project <https://gcc.gnu.org/>

⁴GNU Lesser General Public License <https://www.gnu.org/licenses/lgpl-3.0.html>



Obrázek 1: Časť konceptuálneho modelu vo forme Petriho siete, reprezentujúca časový priebeh modelu.

V prechode *mesačné výpočty* prebiehajú výpočty pre ktoré sú dostupné tabuľkové hodnoty relevantné vždy pre obdobie jedného mesiaca. Pre výpočet účinnosti kolektoru $Q_{den\ ucinnost}$ v danom mesiaci sa použije vzťah 1. Priepustnosť slnečného žiarenia $\alpha = 0.85$ až 0.95 ([3], str. 21). Plocha solárneho panelu S_{panel} je v m^2 , sklon strechy (t.j. panelu) t_{sklon} je v stupňoch, stredná teplota v dobe slnečného svitu t_{str} (príloha A, obr. 4) je v $^{\circ}\text{C}$ a stredná intenzita slnečného žiarenia I_{str} (príloha A, obr. 5) je jednotkách Wm^{-2} .

$$Q_{den\ ucinnost} = \alpha - S_{panel} \cdot \frac{t_{sklon} - t_{str}}{I_{str}} \quad (1)$$

Následne sa vypočíta skutočná dopadajúca energia na panel vzťahom 2. Pomerná doba slnečného svitu τ_s je koeficient platný pre mesto Brno. Teoreticky možná energia dopadajúca za deň na plochu $Q_{den\ teor}$ (príloha A, obr. 2) je tabuľová hodnota v jednotkach $kWhm^{-2}$.

$$Q_{skut\ dopad} = \tau_s \cdot Q_{den\ teor} \quad (2)$$

Z dopadajúcej energie sa vypočíta reálna energia zachytená solárnym kolektorom pomocou vzťahu 3.

$$Q_{skut\ zachyt} = Q_{skut\ dopad} \cdot Q_{den\ ucinnost} \cdot S_{panel} \quad (3)$$

Následne sa v prechode *denné výpočty* získa množstvo požadované tepla pre aktuálny deň pomocou vzťahu 4. Merná tepelná kapacita vody $c_{H_2O} = 4180$ je v jednotkach $Jkg^{-1}K^{-1}$. Uvažovaná hustota vody je $\rho_{H_2O} = 995.6kgm^{-3}$ (pri strednej teplote 30°C). Objem zásobníka V_z je v jednotkach litrov. Výstupná teplota vody je $t_2 = 50^{\circ}\text{C}$ a vstupná teplota vody je $t_1 = 10^{\circ}\text{C}$. Výsledná spotreba v kWh je vynásobená koeficiento $\beta = 1.1$, ktorý uvažuje 10% straty.

$$Q_{spotreba} = c_{H_2O} \cdot \rho_{H_2O} \cdot V_z \cdot (t_2 - t_1) \cdot \beta \quad (4)$$

Vypočítaná spotreba na deň sa môže pre každý deň mierne lísiť lebo ľudia nespotrebovávajú teplú vodu deterministicky presne. Avšak z dlhodobého hľadiska bude spotreba vody veľmi podobná. Na základe pozorovania spotreby vody v mojej domácnosti, bolo vypozorované že denná spotreba vody sa lísi v približnom rozmedzí 10%. Na základe tohto sa na výpočet skutočnej spotreby použilo normálne rozloženie (IMS [2] slide 93.) zo strednotou hodnotou $\sigma = Q_{spotreba}$ a rozptylom $\mu = 0.1 * Q_{spotreba}$.

Na záver sa pre aktuálny deň vyhodnotí bilancia vyprodukovej energie $Q_{skut\ zachyt}$ a požadovanej energie $Q_{spotreba}$. Spôsob vyhodnotenia je zachytený v algoritme 3.1. Výsledkom dennej produkcie tepla môže byť nedostatok solárnej energie (nutnosť použiť plynový kotol) alebo dostať energie (prípadne jej prebytok).

Algorithm 1 Daily energetic bilancion.

```
Input: requiredHeat
Input: productDaily
cosumptionDaily ← Normal(requiredHeat, 0.1 * requiredHeat)
if productDaily < cosumptionDaily then
    solarDaily ← productDaily
    fosilDaily ← cosumptionDaily
else
    solarDaily ← cosumptionDaily
    wasteDaily ← productDaily – cosumptionDaily
end if
Output: fosilDaily
Output: solarDaily
Output: wasteDaily
```

4 Architektúra programu

Priebeh simulácie je veľmi závislý od simulačného času a to špecificky od mesiaca, ktorý je aktuálne simulovaný. Architektúra programu preto implementuje špeciálnu datovú štruktúru ktorá uchováva informácie o aktuálnom mesiaci v simulačnom čase. Na základe časovej aktuálnej časovej značky sa vyberajú tabuľkové hodnoty popísané v predošlej kapitole.

4.1 Ročný cyklus

Ako popisuje sekcia 3.1, miesto *Nový mesiac* je obsadené 1 procesom vždy na začiatku nového kalendárneho mesiaca. Toto chovanie zabezpečuje proces, ktorý sa vždy uspí na mesiac. Avšak jednotlivé mesiace v roku sa líšia počtom dní. Preto je v rámci celého programu dostupná datová štruktúra, ktorá uchováva aktuálne prebiehajúci mesiac roku, pričom na začiatku je iniciovaná prvým mesiacom každého kalendárneho roku. Pri vstupe do miesta *Nový mesiac*, tento proces vždy nastavený ďalší kalendárny mesiac v roku. Toto chovanie sa cyklicky opakuje po uplinutí roku. Táto štruktúra obsahuje pre každý mesiac príslušný počet dní. .

4.2 Riadiace procesy

Riadenie programu je cyklicky predávané na začiatku mesiaca procesu, ktorý po vypočítaní aktuálnych hodnôt predá riadenia postupne každý deň jednému procesu. Proces mesiaca sa teda vždy uspí na počet dní príslušný aktuálnemu mesiacu a zároveň vygeneruje príslušné množstvo procesov na denné výpočty.

4.3 Tabuľkové hodnoty

Pre výpočet algebraických rovníc popísaných vpredošlej kapitole sa využívajú tabuľkové hodnoty, ktoré sú implementované v nasledujúcich statických triedach:

- **MeanIntensityOfSunlightBrno:** Trieda obsahuje koštanty reprezentujúce strednú intenzitu slnečného žiarenia v jednotlivých mesiacoch pre Brno. Voľba hodnoty závisí od mesiaca a sklonu strechy. Pre prístup, k tímto hodnotám sa využíva jednoduché rozhranie *get(mesiac, uhol)*, ktoré mapuje *mesiac* a *uhol* na príslušnú hodnotu.
- **TheoreticalIncidentSunlightBrno:** Trieda reprezentuje tabuľkové hodnoty teoretickej možnej energie dopadajúcej za deň na plochu $1m^2$ v jednotlivých mesiacoch pre Brno. Voľba hodnoty opäť závisí od mesiaca a sklonu strechy, preto je rozhranie rovnaké ako bolo popísané v predošлом bode.
- **SunlightBrno:** Trieda obsahuje tabuľky pre pomernú dobu slnečného svitu a taktiež pre strednú teplotu v dobe slnečného svitu v jednotlivých mesiacoch v Brne. Tieto hodnoty sú závislé len od mesiaca, preto je rozhranie tvorené metódov *getMeanTemperature(mesiac)* a *getRatio(mesiac)*.

4.4 Používanie programu

Vstupom programu sú nasledujúce parametre systému:

- **Čas:** Simuláčny čas programu vždy začína v čase 0 a jeho dĺžku môže užívateľ nastaviť v rokoch.
- **Zásobník:** Objem zásobníka na ohrev teplej vody v litroch. Všeobecne sa doporučuje voliť v násobkoch 50 litrov, čo je priemerná hodnota spotreby na jednu osobu za deň.
- **Plocha kolektorov:** Plocha zachytávajúca slnečné svetlo v m^2 .
- **Sklon kolektorov:** Sklon strechy je rovný sklonu kolektorov. Je možné simulovať len pre nasledujúce uhly: $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$.

Program sa dá preložiť spustením priloženého Makefile a následne spustiť:

```
./ims-project -years 1 -tank 200 -area 6 -degree 30
```

Výstupom programu sú nasledujúce informácie:

- Celková spotrebovaná solárna energia v kWh za odsimulované časové obdobie.
- Celková spotrebovaná fosilná energia v kWh za odsimulované časové obdobie.
- Vyprodukovaná prebytočná (nevyužitá) solárna energia v kWh za odsimulované časové obdobie.
- Celkovo spotrebovaná energia v kWh za odsimulované časové obdobie.
- Vyprodukované emisie CO_2 v kg , zo solárnym systémom.
- Vyprodukované emisie CO_2 v kg , bez solárneho systému.

5 Simulačné experimenty

V tejto sekcii sa na základe výsledkov simulačných experimentov zhodnotí dopad produkcie tepelnej energie zo solárnych panel na životné prostredie v porovnaní s energiou získanou spaľovaním zemného plynu. Na vytvorený model sa aplikovalo niekoľko experimentov s cieľom zistiť efektívnosť systému pre rôzne vstupné parametre.

5.1 Experiment 1

Pre overenie validity naimplementovaného modelu bol odsimulovaný experiment s rovnakými vstupnými parametrami ako systém navrhovaný v referenčnej práci [3]:

Čas [rok]	1
Zásobník [liter]	200
Plocha kolektorov [m^2]	6
Sklon kolektorov [$^\circ$]	30

Tabuľka 1: Vstupné parametre systému pre experiment 1.

Energetická bilancia referenčného návrhu [3] a výsledky simulácie sú zobrazené v tabuľke 2. Z tabuľky vyplýva, že výsledky simulácie sú veľmi podobné referenčnému návrhu. S tohto hľadiska bol model vyhodnotený ako validný. Navrhovaný systém povedie až k 70% poklesu produkcie CO_2 emisií. Až 42% solárnej energie vyprodukovej tímto systémom bude tvoriť prebytok a nebude využitá.

	Experimentálne výsledky	Referenčné výsledky
Ročná spotreba energie [kWh]	3722.64	3713.079
Solárna energia [kWh]	2565.89	2547.703
Fosilná energia [kWh]	1156.75	1165.376
Nevyužitá solárna energia [%]	42	-
CO ₂ emiie bez solárneho systému [kg/rok]	7444.38	-
CO ₂ emisie zo solárnym systémom [kg/rok]	2138.00	-
Pokles CO ₂ emisií[%]	70	-

Tabuľka 2: Porovnanie referenčných výsledkov s výsledkami získanými zo simulácie pre rovnaké vstupné parametre.

5.2 Experiment 2

V tomto experimente sa uvažoval sklon strechy vždy 30°. Simulovalo sa po obdobie 1 rok a zmyslom experimentu bolo nájsť najvhodnejší pomer plochy kolektorov a objemu zásobníka vzhľadom na pokles vyprodukovaných emisií. Taktiež sa vyhodnocovala predimenzovanie panelu v zmysle produkcie energie, ktorá sa ďalej nevyužíva. Výsledky experimentu sú zobrazené v tabuľke 3. Z výsledkov vyplýva, že zásobník o objeme 150l s panelom o ploche 6m² znižuje produkciu emisií približne o 75% ale zároveň až 52% vyprodukovej solárnej energie sa nevyužije. Na druhej strane zásobník o objeme 250l s panelom o ploche 3m² znižuje produkciu emisií približne o 50% a zároveň len 2% vyprodukovej solárnej energie sa nevyužije.

Plocha panelov [m ²]	Objem zásobníka [l]	Spotreba solárnej energie [kWh/rok]	Spotreba fosilnej energie [kWh/rok]	Nevyužitá solárna energia [kWh/rok]	Nevyužitá solárna energia [%]	Spotrebovaná energie celkovo [kWh/rok]	CO ₂ emiie bez solárneho systému [kg/rok]	CO ₂ emisie zo solárnym systémom [kg/rok]	Pokles CO ₂ emisií [%]
6	150	2067.54	709.26	2268.76 ()	52	2776.80	5609.14	1432.71	75
6	200	2618.30	1093.19	1838.57	41	3711.49	7497.21	2208.24	71
6	250	2998.74	1655.82	1193.34	28	4654.56	9402.22	3344.76	65
5	250	3027.34	1564.84	1078.08	26	4592.19	9276.22	3160.98	66
4	250	2827.86	1838.01	546.18	16	4665.87	9425.06	3712.78	61
3	250	2302.78	2341.42	48.72	2	4644.20	9381.29	4729.67	50

Tabuľka 3: Výsledky experimentu 2 pre rôzne vstupné parametre.

5.3 Experiment 3

Experimentovalo sa so sklonom strechy pre panel o ploche 3m² a zásobník o objemom 250l po časové obdobie 1 rok. Výsledky experimentu sa nachádzajú v tabuľke 4. Z výsledkov vyplýva, že pre sklon strechy 0° až 45° je výsledná produkcia emisií takmer totožná. Na druhej strane, pre strechu zo sklonom 60° a viac je úspora emisií značne menšia a pri sklone 90° je pokles emisií len 14°.

Sklon strechy [degree]	Spotreba solárnej energie [kWh/rok]	Spotreba fosilnej energie [kWh/rok]	Nevyužitá solárna energia [kWh/rok]	Nevyužitá solárna energia [%]	Spotrebovaná energie celkovo [kWh/rok]	CO ₂ emiie bez solárneho systému [kg/rok]	CO ₂ emisie zo solárnym systémom [kg/rok]	Pokles CO ₂ emisií [%]
0	2323.60	2286.58	129.92	5	4610.18	9312.56	4618.89	51
15	2500.43	2157.83	152.83	5	4658.25	9409.67	4358.81	54
30	2283.44	2358.24	41.90	1	4641.68	9376.19	4763.64	50
45	2319.83	2296.38	31.81	1	4616.21	9324.74	4638.68	51
60	1829.54	2833.67	0.00	0	4663.21	9419.68	5724.01	40
75	1173.70	3498.36	0.00	0	4672.07	9437.58	7066.70	26
90	646.35	4010.42	0.00	0	4656.77	9406.68	8101.05	14

Tabuľka 4: Výsledky experimentu 3 pre rôzne sklony strechy.

5.4 Záver experimentov

Prebehli tri typy experimentov. Prvý experiment slúžil na overenie validity simulačného modelu. Výsledok modelu potvrdil validitu modelu, ale taktiež oproti referenčnému návrhu solárneho systému poskytol informácie o produkcií emisií a prebytočnej tvorbe solárnej energie.

V druhom experimente sa vyskúšalo 6 rôznych kombinácií objemu zásobníku a plochy kolektorov s cieľom nájsť optimálne riešenie. Za optimálne riešenie bol zvolený návrh zo zásobníkom o objeme $250l$ a zo solárnym panelom o ploche $6m^2$. Takáto zostava neprodukuje takmer žiadnu prebytočnú solárnu energiu. Vyprodukovaná energia je efektívne využívaná. CO_2 emisie v tomto prípade poklesnú o polovicu.

V treťom experimente sa vyskúšalo 7 rôznych sklonov strechy na ktorej bude panel umiestnený. Okrem sklonu sa počítalo s parametrami, ktoré sme zvolili v predošлом experimente za optimálne. Výsledok experimentu je fakt, že panel umiestnený na streche v skлоне 0° až 45° produkuje veľmi podobné solárne zisky. Väčší sklon vedie k značnému poklesu výkonnosti solárneho systému. Záverom experimentu je doporučenie navrhovať sklon panelu v rozmedzí do 45° . Na voľbu presného sklonu v tomto rozmedzí takmer nezáleží lebo efektívnosť solárneho systému pre takto zvolený uhol je takmer zhodná.

6 Záver

Závěrem dokumentace se rozumí zhodnocení simulační studie a zhodnocení experimentů (např. Z výsledků experimentů vyplývá, že ... při předpokladu, že ... Validita modelu byla ověřena ... V rámci projektu vznikl nástroj ..., který vychází z ... a byl implementován v ...).

- do závěru se nehodí psát poznámky osobního charakteru (např. práce na projektu mě bavila/nebavila, ...). Technická zpráva není osobní příběh autora.
- absolutně nikoho nezajímá, kolik úsilí jste projektu věnovali, důležitá je pouze kvalita zpracování simulátoru-/modelu a obsažnost simulační studie (rozhodně ne např.: projekt jsem dělal ... hodin, což je víc než zadání předpokládalo. Program má ... řádků kódu). Pokud zdůrazňujete, že jste práci dělali významně déle než se čekalo, pak tím pouze demonstrujete vlastní neschopnost (to platí zejména v profesním životě).
- do závěru se velmi nehodí psát "auto-zhodnocení" kvality práce, to je výhradně na recenzentovi/hodnotiteli (např. v projektu jsem zcela splnil zadání a domnívám se, že môj model je bezchybný a výsledky taktéž). Statisticky častý je pravý opak autorova auto-zhodnocení. Pokud přesto chcete vyzdvihnout kvalitu svého díla (což je dobré), tak vaše výroky musí být naprostoto nepopiratelně zdůvodněny a prokázány (např. pomocí jiného referenčního přístupu, matematického důkazu, analýzy, ...).

Reference

- [1] Cihelka, J. *Solární tepelná technika*. Praha: T. Malina, první vydání, 1994, ISBN 80-900759-5-9.
- [2] Petr Peringer, M. H. Modelovani a simulace. Poslední modifikace September 2019 [vid. 2019-11-09].
URL <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>
- [3] Tuhovčák, J. Solární systém. 2010, vedoucí bakalářské práce Ing. Libor Chroboczek.
URL https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace?zp_id=28601

A Tabuľkové hodnoty pre návrh solárnej tepelnej techniky

Tabuľkové hodnoty boli získané z knihy pre projektantov solárnych systémov [1].

Úhel sklonu oslnené plochy α	Teoreticky možná energie dopadajúca za deň na plochu v jednotlivých mesiacoch $Q_{S \text{ den teor}} (\text{kW.h.m}^{-2})$						
	XII.	I. XI.	II. X.	III. IX.	IV. VIII.	V. VII.	VI.
Azimutový úhel oslnené plochy $a_s = \pm 0^\circ$ (orientace na jih)							
0°	1,09	1,55	2,74	4,93	6,73	8,38	9,16
15°	1,78	2,30	3,75	5,82	7,50	9,12	9,76
30°	2,35	2,96	4,48	6,44	7,98	9,56	9,98
45°	2,70	3,40	4,96	6,70	8,06	9,42	9,64
60°	3,00	3,71	5,26	6,54	7,41	8,09	8,48
75°	3,08	3,90	5,32	6,24	6,44	6,44	6,44
90°	3,11	3,96	5,00	5,56	5,19	4,49	4,31

Obrázek 2: Teoreticky možná energia dopadajúca za deň na plochu v jednotlivých mesiacoch.

Měsíc	Poměrná doba slunečního svitu $\bar{\tau} = \tau_{\text{skut}} / \tau_{\text{teor}}$ pro některá místa v ČR a SR							
	Praha	České Budějovice	Hradec Králové	Brno	Bratislava	Košice	Šněžka (1 602 m)	Lomnický štít (2 632 m)
I.	0,21	0,18	0,18	0,18	0,25	0,26	0,33	0,48
II.	0,32	0,29	0,27	0,31	0,35	0,31	0,33	0,47
III.	0,42	0,37	0,40	0,38	0,46	0,42	0,37	0,50
IV.	0,45	0,39	0,44	0,39	0,50	0,46	0,33	0,42
V.	0,51	0,43	0,50	0,48	0,56	0,53	0,40	0,36
VI.	0,54	0,46	0,51	0,53	0,59	0,54	0,38	0,33
VII.	0,55	0,49	0,52	0,56	0,66	0,58	0,39	0,37
VIII.	0,55	0,51	0,54	0,53	0,66	0,59	0,40	0,43
IX.	0,53	0,48	0,52	0,50	0,63	0,57	0,40	0,52
X.	0,37	0,34	0,37	0,37	0,47	0,47	0,30	0,60
XI.	0,21	0,22	0,19	0,23	0,25	0,27	0,31	0,46
XII.	0,14	0,15	0,17	0,12	0,20	0,23	0,28	0,48

¹⁾ Vztaženo k teoretické dobe τ_{teor} platné pro 50° severní šířky (viz tab. 2.8).

Obrázek 3: Pomerná doba slnečného svitu.

Tab. 2.16. Střední teplota v době slunečního svitu t_v pro některá místa v ČR a SR

Místo	Střední teplota v době slunečního svitu t_v v jednotlivých měsících (°C)											
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
Praha	2,2	3,4	6,5	12,1	16,6	20,6	22,5	22,6	19,4	13,8	7,3	3,5
České Budějovice	1,7	2,4	6,2	10,7	15,8	18,6	20,8	20,6	17,4	12,1	6,9	3,3
Hradec Králové	1,6	2,4	6,0	10,7	15,9	18,9	20,7	20,8	18,0	12,7	7,2	3,3
Brno	1,7	2,8	7,0	12,0	17,2	20,2	22,1	21,8	18,5	13,1	7,7	3,5
Bratislava	2,1	3,6	8,5	13,4	18,5	21,6	23,5	23,6	20,5	14,7	8,5	4,2
Košice	0,1	1,7	6,6	12,1	16,3	20,5	22,4	22,2	18,7	13,1	7,5	2,8
Sněžka (1 602 m)	-3,5	-3,6	-1,7	1,7	6,6	9,6	11,6	11,9	9,7	5,5	0,9	-2,0
Lomnický štít (2 632 m)	-6,9	-7,5	-5,8	-2,2	2,4	5,1	7,1	8,0	5,7	2,3	-2,6	-5,5

Obrázek 4: Středná teplota v dobe slnečného svitu v jednotlivých mesiacoch.

Tab. 2.17. Střední intenzita slunečního záření $I_{stř}$ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) na různě skloněné plochy; platí pro 50° severní šířky a součinitel znečištění atmosféry $Z = 3$

Úhel sklonu osluňené plochy α	Střední intenzita slunečního záření $I_{stř}$ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) v jednotlivých měsících						
	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
Azimutový úhel osluňené plochy $a_s = \pm 0^\circ$ (orientace na jih)							
0°	139	188	271	411	484	534	561
15°	227	278	371	485	540	581	597
30°	299	358	443	537	574	609	611
45°	344	412	490	558	580	600	590
60°	382	449	520	545	533	515	519
75°	392	472	526	520	463	410	394
90°	396	479	494	463	373	286	264

Obrázek 5: Středná intenzita slnečného žiarenia v jednotlivých mesiacoch.