

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 informácií a autori práce	2
1.2	Validácia navrhovaného modelu	2
2	Rozbor navrhovaného systému a použitých technológií	2
2.1	Postup použitý 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 a teplej vody významne vplýva na množstvo emisií CO_2 vyprodukovaných prevádzkou objektu. Systém ohrevu využívajúci alternatívne zdroje vyprodukuje nezanedbateľne menšie množstvo emisií CO_2 v porovnaní so systémom využívajúcim výlučne spaľovanie zemného plynu. Táto práca analyzuje systém na ohrev vody pomocou solárneho panelu, ktorý ohrieva zásobník s vodou. Výsledok práce je zhodnotenie 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 bol použitý konkrétny navrhovaný projekt publikovaný v nasledujúcej práci [3]. Referenčný návrh vytvoril vedecký pracovník Energetického ústavu Fakulty strojného inžinýrství 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 nášho 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, nezávisle na ročnom období. 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 na nasledujúcich faktoroch:

- 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 zo sekundárneho zdroja, ktorým je plynový kotol. Na druhej strane, prebytky solárnej energie sa v navrhovanom systéme vôbec nevyužívajú. Navrhovaný solárny systém neprodukuje žiadne emisie CO_2 . Naproti tomu, spaľovanie plynu produkuje 202g CO_2 emisií¹ na 1 kWh vyprodukovaného tepla. Podľa referenčnej práce sú emisie spojené s vybudovaním solárneho systému porovnateľné 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 použitý 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 siete boli využité postupy preberané na predmete IMS [2] v kapitole *Diskrétní simulace*. Použité algebraické vzťahy boli prevzaté z 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. Knihovna 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 simulovať čas minimálne v rádoch rokov. V opačnom prípade by samotná výstavba alternatívneho zdroja energie predstavovala väčšiu záťaž životného prostredia ako úspora získaná jeho používaním.

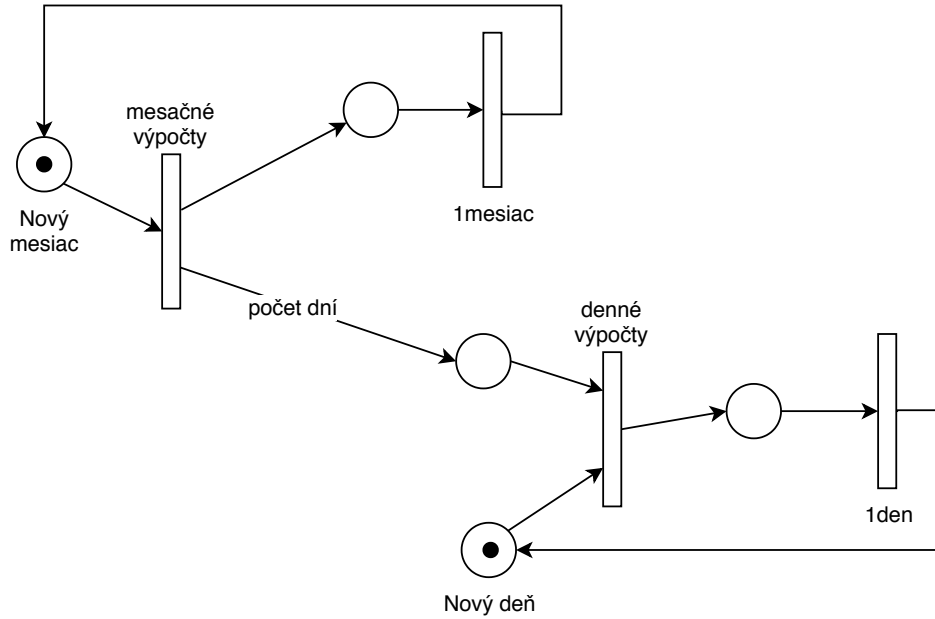
3.1 Schéma navrhovaného systému

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 jednu značku. Táto značka okamžite prechádza do prechodu *mesačné výpočty*, kde prebiehajú algebraické výpočty relevantné pre aktuálny mesiac popísané ďalej v tejto sekcii. 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 deň mesiaca.

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 a 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 $^{\circ}C$ a stredná intenzita slnečného žiarenia I_{str} (príloha A, obr. 5) je v 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 tabuľková hodnota v jednotkách $kWhm^{-2}$.

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

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 požadovaného tepla pre aktuálny deň pomocou vzťahu 4. Uvažujeme mernú tepelnú kapacitu vody $c_{H_2O} = 4180 Jkg^{-1}K^{-1}$ a hustotu vody $\rho_{H_2O} = 995.6 kgm^{-3}$ (pri strednej teplote $30^{\circ}C$). Objem zásobníka V_z je v jednotkách litrov. Výstupná teplota vody je $t_2 = 50^{\circ}C$ a vstupná teplota vody je $t_1 = 10^{\circ}C$. 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 líšiť, pretože ľudia nespotrebovávajú teplú vodu deterministicky presne. Avšak z dlhodobého hľadiska bude spotreba vody veľmi podobná. Na základe pozorovania spotreby vody v mojej domácnosti som zistil, že denná spotreba vody sa líši v približnom rozmedzí 10%. Na základe tohoto sa na výpočet skutočnej spotreby použilo normálne rozloženie (IMS [2] slide 93.) zo strednou hodnotou $\sigma = Q_{spotreba}$ a rozptylom $\mu = 0.1 * Q_{spotreba}$.

Na záver sa pre aktuálny deň vyhodnotí bilancia vyprodukovanej 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 dostatok energie (prípadne jej prebytok).

Algorithm 1 Daily energetic bilancion.

Input: *requiredHeat*
Input: *productDaily*
cosumptionDaily \leftarrow **Normal**(*requiredHeat*, $0.1 * \text{requiredHeat}$)
if *productDaily* < *cosumptionDaily* **then**
 solarDaily \leftarrow *productDaily*
 fossilDaily \leftarrow *cosumptionDaily*
else
 solarDaily \leftarrow *cosumptionDaily*
 wasteDaily \leftarrow *productDaily* – *cosumptionDaily*
end if
Output: *fossilDaily*
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 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 nastaví ďalší kalendárny mesiac v roku. Toto chovanie sa cyklicky opakuje po uplynutí 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 riadenie 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 v predošlej kapitole sa využívajú tabuľkové hodnoty, ktoré sú implementované v nasledujúcich statických triedach:

- **MeanIntensityOfSunlightBrno:** Trieda obsahuje konštanty reprezentujúce strednú intenzitu slnečného žiarenia v jednotlivých mesiacoch pre Brno. Voľba hodnoty závisí od mesiaca a sklonu strechy. Pre prístup, k týmto 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 predošlom 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 metódou *getMeanTemperature(mesiac)* a *getRatio(mesiac)*.

4.4 Používanie programu

Vstupom programu sú nasledujúce parametre systému:

- **Čas:** Simulačný 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 simulované časové obdobie.
- Celková spotrebovaná fosilná energia v kWh za simulované časové obdobie.
- Vyprodukovaná prebytočná (nevyužitá) solárna energia v kWh za simulované časové obdobie.
- Celkovo spotrebovaná energia v kWh za simulované časové obdobie.
- Vyprodukované emisie CO_2 v kg so 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 na životné prostredie zo solárnych panelov v porovnaní so 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

Tabulka 1: Vstupné parametre systému pre experiment 1.

Energetická bilancia referenčného návrhu [3] a výsledky simulácie sú zobrazené v tabuľke 2. Z tabuľky vypláva, 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 vyprodukovanej týmto 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 so solárnym systémom [kg/rok]	2138.00	-
Pokles CO ₂ emisií[%]	70	-

Tabulka 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 predimenzovanosť panelu v zmysle produkcie energie, ktorá sa ďalej nevyužíva. Výsledky experimentu su 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% vyprodukovanej 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% vyprodukovanej 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

Tabulka 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 objeme 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 so 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

Tabulka 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 produkcii 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 so 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. CO₂ 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 predošlom experimente za optimálne. Výsledok experimentu je fakt, že panel umiestnený na streche v sklone 0° až 45° produkuje veľmi podobné solárne zisky. Väčší sklon vedie k značnému poklesu výkonnosti solárneho systému. Záverom experimentu je doporučené navrhovať sklon panelu v rozmedzí do 45°. Na voľbe presného sklonu v tomto rozmedzí takmer nezáleží lebo efektívnosť solárneho systému pre takto zvolený uhol je takmer zhodná.

6 Záver

Výsledkom projektu je simulačný nástroj, ktorý zodpovedá kombinovanému vykurovaciemu systému so solárnymi panelmi a plynovým kotlom. Validita modelu a teda nástoroja bola dokázaná na základe experimentov v sekcii 5.1.

Simulačný nástroj je prínosný pre výpočet potreby tepla na ohrievanie vody a v súvislosti s vplyvmi na životné prostredie na návrh parametrov efektívneho solárneho systému a návrh systému eliminujúceho emisie. Eliminácia emisií je kľúčový cieľ vo všetkých oblastiach nášho života s ohľadom na našu budúcnosť a budúcnosť ľudstva.

Zároveň je nástroj dostatočne jednoduchý a dostupný na využitie záujemcami o solárny systém.

V rámci experimentov sme sa zamerali na rôzne parametre prínosné pri návrhu a prevádzkovaní systému so solárnymi panelmi.

Môžeme uvážiť rôzne veľkosti plochy solárnych panelov a zásobníkov s ohľadom na maximálne využitie produkcie panelov alebo elimináciu emisií na základe sekcii 5.2. Vzhľadom na veľkosť našej strechy, dostupné finančné prostriedky a ekologické cítenie môžeme uvažovať o rôznych variantach systému predstavené v sekcii 5.2.

Pri umiestnení panelov môžeme vychádzať z experimentov v sekcii 5.3 a podniknúť prípadné úpravy pre vhodné umiestnenie panelov, aby použitie tohoto systému malo zmysel a bolo ekonomicky únosné.

Projekt ako celok ukázal, že využitie solárnych panelov znamená podstatné zníženie CO₂, čo je aj cieľom projektu. Zároveň experimenty ukázali rôzne varianty riešenia solárneho systému s rôznymi parametrami v sekcii 5. Dané riešenia podstatne znižujú dopad objektov na životné prostredie.

Reference

- [1] Cihelka, J. *Solární tepelná technika*. Praha: T. Malina, první vydání, 1994, ISBN 80-900759-5-9.
- [2] Petr Peringer, M. H. Modelování 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].

Tab. 2.9. Teoreticky možná energia dopadajúca za deň $Q_{S \text{ den teor}}$ (kW.h.m⁻²) na rôzne sklonené plochy; platí pro 50° severní šířky a součinitel znečištění atmosféry $Z = 3$

Úhel sklonu oslněné plochy α	Teoreticky možná energie dopadající za deň na plochu v jednotlivých měsících $Q_{S \text{ den teor}}$ (kW.h.m ⁻²)						
	XII.	I. XI.	II. X.	III. IX.	IV. VIII.	V. VII.	VI.
Azimutový úhel oslněné plochy $\alpha_s = \pm 0^\circ$ (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.

Tab. 2.12. Poměrná doba slunečního svitu $\bar{\tau} = \tau_{\text{skut}} / \tau_{\text{teor}}$ pro některá místa v ČR a SR

Měsíc	Poměrná doba slunečního svitu $\bar{\tau} = \tau_{\text{skut}} / \tau_{\text{teor}}^1$							
	Praha	České Budějovice	Hradec Králové	Brno	Bratislava	Košice	Sněžka (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⁾ Vzataženo k teoretické době 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: Střední teplota v době slunečního svitu v jednotlivých měsících.

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

Úhel sklonu oslněné plochy α	Střední intenzita slunečního záření I_{stf} ($W \cdot m^{-2}$) v jednotlivých měsících						
	XII.	I. XI.	II. X.	III. IX.	IV. VIII.	V. VII.	VI.
Azimutový úhel oslněné 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: Střední intenzita slunečního záření v jednotlivých měsících.