



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Projektová dokumentace

1. Elektro-energetika

Vliv úhlu sklonu a azimutu solárních kolektorů na získanou energii a snížení nákladů na energie

IMS - Modelování a simulace

Tadeáš Kachyňa (xkachy00)
Lucia Makaiová (xmaakai00)

5. prosince 2022

Obsah

1	Úvod	2
1.1	Autoři, zdroje	2
1.2	Ověření validity	2
2	Rozbor tématu a použitých metod/technologií	2
2.1	Aktuální stav systému	3
2.2	Podstatné vlivy na umístění solárních kolektorů	3
2.3	Použité postupy	5
2.4	Popis původu použitých metod/technologií	5
3	Konceptuální model	6
4	Architektura simulačního modelu	7
4.1	Průběh programu	8
4.2	Spouštění simulačního modelu	8
5	Experimenty	8
5.1	Postup experimentace	8
5.2	Experiment 1	8
5.3	Experiment 2	9
5.4	Experiment 3	10
5.5	Experiment 4	11
5.6	Závěry experimentů	12
6	Shrnutí simulačních experimentů a závěr	12

1 Úvod

Cílem této práce je ověřit, zda-li se vyplatí instalace solárních kolektorů na obytný dům, které by směřovalo k následnému poklesu výdajů za elektřinu, která je hlavním zdrojem vytápění v tomto domě. Na základě modelu a simulačních experimentů [5, snímek 7, 9] bude ukázáno chování v různých podmínkách, což v tomto případě znamená úhel sklonu od vodorovné plochy a azimut umístění kolektorů, které mají na výsledné získané teplo nemalý vliv. Model a i následné experimenty byly sestaveny na základě obytného domu v kterém jeden autor bydlí.

1.1 Autoři, zdroje

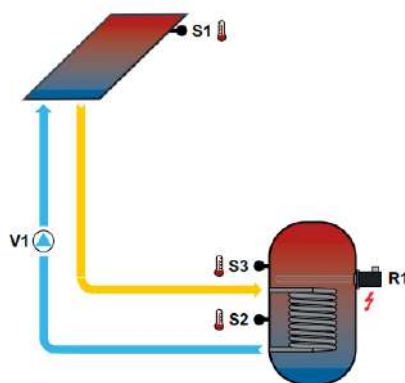
Projekt vypracovali studenti Tadeáš Kachyňa a Lucia Makaiová z FIT VUT v Brně. K technické části této práce bylo využito zdrojů z kursu Modelování a simulace (zkr. IMS). Zdroje k vypracování tohoto modelu sloužila data osobně naměřená majitelem domu, webové stránky se statistickými informacemi a normy určené pro zjednodušené hodnocení solárních tepelných soustav, konkrétněji norma TNI 73 0302[2].

1.2 Ověření validity

Validace výpočtů bude provedena na základě osobních dat naměřených již na existující solární soustavě a kalkulačky [6] počítající s normou TNI 73 0302. Některá data v tomto modelu byla změněna na základě zeměpisné polohy objektu pro který je model přizpůsoben pro lepší přiblížení vypočtených výsledků s realitou.

2 Rozbor tématu a použitých metod/technologií

Hlavní činností solárních kolektorů je ohřev vody v zásobníku. To probíhá v jednoduchém cyklu, kdy teplosná kapalina stoupá za pomoci oběhového čerpadla k solárním kolektorům umístěným na střeše, kde se vlivem nastrádané energie voda ohřeje a následně putuje zpět do zásobníku. Tento obvod, graficky znázorněný na následujícím obrázku, je řízen několika podmínkami, resp. teploměry umístěnými po obvodu. Je spuštěn pokud je rozdíl teplot na teploměrech S1 a S2 více než 10°C , je pozastaven pokud rozdíl S1 a S2 je méně než 3°C anebo pokud teplota na teploměru S2 dosáhla maximálního ohřevu v zásobníku, což je 75°C . Dále se zde nachází druhý nezávislý obvod, který je tvořen topnou spirálou, do které je dodávána elektřina ze sítě. Pro maximalizaci zisků ze solárních kolektorů tento obvod může být v provozu pouze od 15:00 do 23:59 a to pouze za předpokladu, že teplota na teploměru S3 nedosáhla minimální požadované hodnoty 55°C .



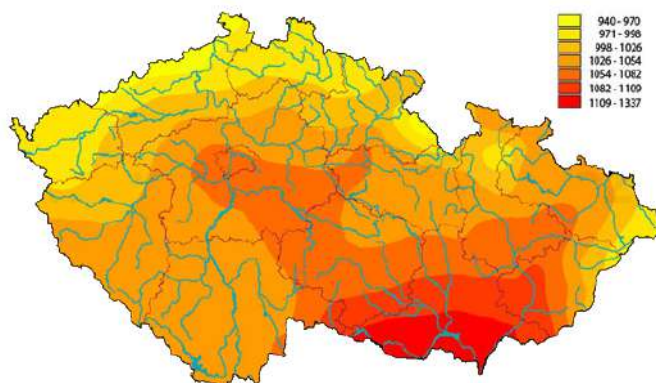
Obrázek 1: Solární systém [5, snímek 7] s doplňkovým elektrickým zdrojem

2.1 Aktuální stav systému

Zdroj tepla pro vytápění je integrovaný zásobník tepla Atrea IZT-I-N-TSE-615. V současnosti tento 615 litrový zásobník je napájen pouze 3 elektrickými topnými patronami (1x2kW, 2x4kW). Zásobník umožňuje připojení kapalinového solárního systému na vnořený nerezový výměník s velkou teplosměnou plochou. Tento zásobník slouží jako zdroj tepla (topné vody) pro teplovzdušný systém vytápění s rekuperací vzduchu Atrea Duplex RK2 z roku 2009, který je provozován jako nízkoteplotní systém s nuceným oběhem a teplotou topné vody do 50°C. Dále má tento zásobník v sobě vestavěný výměník teplé užitkové vody. Maximální dovolená teplota v zásobníku je 85°C.

2.2 Podstatné vlivy na umístění solárních kolektorů

Nyní si shrneme několik podstatných faktů, které efektivitu tohoto systému můžou znatelně ovlivnit. Z následující mapy můžeme vyčíst, že jižní Morava je tím nejvhodnějším místem v republice pro instalaci solárních kolektorů. Roční úhrn globálního záření zde dosahuje maximálních 1337 W/m².



Obrázek 2: Roční úhrn globálního slunečního záření v ČR [W/m²]

Z následující tabulky je patrné, že výsledné přijaté teplo je nemálo ovlivněno i sklonem. Ideální instalace je zde kolem 45 až 60°, kdy dostáváme rozumné množství energie přes letní měsíce a také v celku nadprůměrné v zimních měsících oproti náklonu v 0° a 90°.

Suma záření na nakloněnou plochu kWh/m ² /měsíc							
Jihomoravský kraj	Úhel sklonu ve stupních od vodorovné plochy						
Měsíc	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
Leden	27	27	38	41	42	43.5	43
Únor	48	56	64	70	72	72	69
Březen	99	112	122	125	124	119	108
Duben	133	146	154	156	145	130	110
Květen	185	199	208	205	181	150	113
Červen	201	214	219	213	191	152	111
Červenec	196	210	220	217	191	157	118
Srpen	159	175	118	186	174	153	128
Září	111	128	140	145	142	136	123
Říjen	54	68	78	85	89	89	84
Listopad	26	32	36	39	41	42	41
Prosinec	19	22	25	26	27	27	26

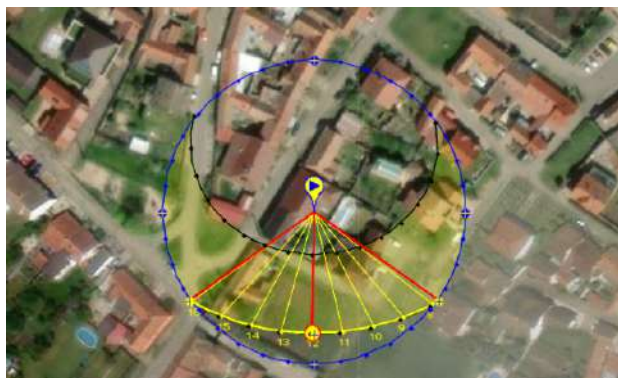
Tabulka 1: Tabulka slunečního svitu na plochu solárního kolektoru.

Pokud provedeme součet přijatého tepla v (např.) nulovém sklonu, tak zjistíme že dostaneme hodnotu nacházející se v intervalu pro oblast jižní Moravy, viz obrázek 2. Další fakt, který je při instalaci kolektorů brát třeba v úvahu, tak je poloha azimutu, neboli úhlu, který ve vodorovné rovině svírá určitý směr se s jižním pólem. Na zkoumaném objektu uvažujme tato 4 barevně rozlišená možná umístění. Sestupně zaujímají skutečně využitelnou plochu o zhruba 20m², 12.5m², 5m² a 5m².

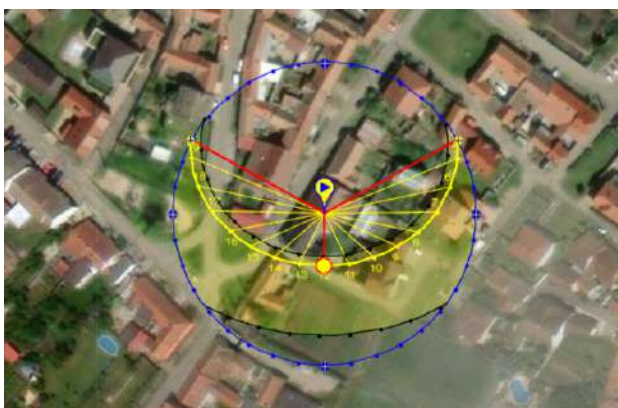


Obrázek 3: Možné umístění solárních kolektorů vzhledem k azimutu

Další důležitý faktor, který je zcela vázaný k danému místu je nechtěný stín způsobený jak už objektem samotným nebo i jinými objekty. Toto je taktéž potřeba vzít do úvahy při vyhodnocování experimentů.



Obrázek 4: Záběr slunečních paprsků v nejkratším dnu v roce



Obrázek 5: Záběr slunečních paprsků v nejdelším dnu v roce

Z výše uvedených obrázků můžeme vidět, že záběr slunečních paprsků v zimním období je pouze na jižní stranu, oproti tomu v letním na všechny světové strany s výjimkou severní. Červená a modrá plocha střechy (viz 3) budou mít větší sluneční záběr po celý rok.

2.3 Použité postupy

Pro sestavení modelu, který se skládá z rovnic a matematických výpočtů byl zvolen jazyk C++. Byl zvolen z důvodu své rychlosti a výpočtu a také poskytnutím vhodných struktur a operací k ním pro tento problém (např. `std::vector`). Pro vizualizaci grafů experimentů do dokumentace byl použit jazyk Python s knihovnou `matplotlib`. Díky výběru těchto multi-platformních technologií je snadné tento program spustit na jakémkoliv počítači a nejedná se o nic těžkopádného.

2.4 Popis původu použitých metod/technologií

Byly použité standardní třídy a funkce jazyka C++¹, přičemž byl dodržen standard C++14. Využívá se také možnosti objektově orientovaného návrhu. Pro překlad zdrojových souborů byly použity nástroje `Make`².

¹<https://en.cppreference.com/w/>

²<https://gcc.gnu.org/onlinedocs/gccint/Makefile.html>

3 Konceptuální model

Při výpočtech vycházíme ze zdrojů vzpomenuých v minulé kapitole, ale taktéž z osobních dat a statistických dat z normy TNI 73 0302. Nejprve než začneme simulovat výrobu topné energie a její spotřebu, tak si je třeba stanovit spotřebu teplé vody. To dokážeme pomocí následujícího vzorečku. V experimentech potom budeme počítat s průměrnou spotřebou čtyřčlenné rodiny vycházející z osobně naměřených statistických dat [4].

$$Q_{p,TV} = (1 + z) \frac{n \cdot V_{TV,den} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{3,6 \times 10^6}$$

kde:

z přírůžka pro zahrnutí tepelných ztrát souvisejících s přípravou teplé vody (-)

n počet dní v měsíci (-)

$V_{TV,den}$.. průměrná denní spotřeba vody ($m^3 \cdot den^{-1}$)

c měrná tepelná kapacita vody ($J \cdot Kg^{-1} \cdot K^{-1}$)

t_{SV} teplota studené vody ($^{\circ}C$)

t_{TV} teplota teplé vody ($^{\circ}C$)

Poté si níže uvedenou rovnicí vypočteme množství teoreticky využitelné tepelné energie.

$$Q_{k,u} = 0,9 \cdot \left[\eta_0 - a_1 \cdot \frac{t_{k,m} - t_{e,s}}{G_{T,m}} - a_2 \cdot \frac{(t_{k,m} - t_{e,s})^2}{G_{T,m}} \right] \cdot H_T \cdot A_k (1 - p)$$

kde:

$Q_{k,u}$ využitelný tepelný zisk (kWh)

η_0 účinnost solárního kolektoru (%)

a_1 lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)

a_2 kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-2}$)

$t_{k,m}$ střední teplota teplonosné kapaliny v solárních kolektorech ($^{\circ}C$)

$t_{e,s}$ střední venkovní teplota v době slunečního svitu ($^{\circ}C$)

$G_{T,m}$ střední denní sluneční ozáření uvažované plochy solárních kolektorů ($W \cdot m^{-2}$)

H_T měsíční dávka slunečního ozáření ($kWh \cdot m^{-2} \cdot měs^{-1}$)

A_k plocha solárních kolektorů (m^2)

p hodnota srážky z tepelných zisků solární soustavy vlivem tepelných ztrát solární soustavy ($W \cdot m^{-2}$)

zde p vypočteme jako $p = \frac{0,26}{A_k} + 100 \frac{A_k}{Q_{p,c}}$ dle [1].

V následujících experimentech bude pracovat se solárním kolektorem CosmoSOL 8253¹ s optickou účinností $\eta_0 = 0.780$ a s koeficienty $a_1 = 3.123$ a $a_2 = 0.019$.

Vypočteme skutečně množství energie z minima dvou hodnot: teoreticky využitelné energie $Q_{k,u}$ a energie potřebné pro ohřev vody $Q_{p,c}$.

$$Q_{ss,u} = \min(Q_{k,u}; Q_{p,c})$$

¹<https://www.gienger.cz/wp-content/uploads/2015/04/CosmoSOL-8203-8253.pdf>

Pro výpočet roční úspory vezmeme energii, která by byla za standardní situace bez vlastnictví kolektorů pro ohřev vody dodávána ze sítě a odečteme od ní teplo dodané solárními kolektory a vynásobíme aktuální cenou elektřiny. V tomto modelu je cena elektřiny fixována až do roku 2024 a to podle ceníku E.ON Energie s distribuční sazbou D 45d [3]. Bereme do úvahy, že voda v zásobníku je ohřívána vodou ze sítě až po 15. hodině, pokud nedosáhla požadované teploty (viz kapitola 2). Během časového úseku od 15. až do 24. hodiny se v současnosti vyskytuje pouze jeden interval zpoplatněný vysokým tarifem. (mezi 16. a 17. hodinou), kdy je ohřívání vody ze sítě automaticky blokováno přijímačem HDO¹. Proto budeme počítat s nízkým tarifem. Využití tepelné zisky solární soustavy $Q_{ss,u}$ v kWh jsou ty, které solární soustava, a to včetně všech svých ztrát dodá do dané aplikace pro pokrytí potřeby tepla. Tepelné zisky solární soustavy je vhodné stanovit na skutečné hranici mezi vlastní solární soustavou a danou aplikací. Využití solární zisky nejsou závislé pouze na kvalitě navržených komponentů (kolektor, zásobník), na tepelných ztrátách (rozvod potrubí, solární zásobník) a na orientaci solárních kolektorů, ale také na návrhu plochy solárních kolektorů vzhledem k potřebě tepla, tedy využitelnosti tepelných zisků kolektorů pro pokrytí potřeby tepla. Solární podíl se stanoví z měsíčních a ročních hodnot využitelných tepelných zisků solární soustavy $Q_{ss,u}$ a celkové potřeby tepla $Q_{p,c}$.

$$f = 100 \cdot \frac{Q_{ss,u}}{Q_{p,c}}$$

Úspory se následně stanoví z celkového ušetřeného tepla dodávaného solární soustavou namísto ze sítě a spolu s investičními náklady se propočítá návratnost.

4 Architektura simulačního modelu

Simulační model se skládá ze 4 zdrojových souborů, a to `solarcollector.cpp|hpp` a `data.cpp|hpp`.

solarcollector.cpp|hpp

třída WaterConsumption

`met. countOneMonth()` – výpočet potřebného tepla pro ohřev vody $Q_{p,TV}$ na jeden měsíc

`met. countOneYear()` – výpočet potřebného tepla pro ohřev vody $Q_{p,TV}$ na jeden rok

třída SolarCollector

`met. countCollectorEfficiency()` – výpočet efektivity kolektoru η

`met. countTheorUsableGainsOneMonth()` – výpočet teoreticky využitelné energie $Q_{k,u}$ (1 měsíc)

`met. countTheorUsableGains()` – výpočet teoreticky využitelné energie $Q_{k,u}$

`met. countActualUsableGains()` – výpočet skutečně využitelné energie $Q_{ss,u}$

`met. countDifference()` – výpočet rozdílu $Q_{ss,u}$ a $Q_{p,c}$ (potřebného tepla)

třída Savings

`metody countElPriceWith(Without)Panels`

`met. countYearSavings`

`met. countReturnOfInvestments`

¹zkr. pro hromadné dálkové ovládání

`data.cpp|hpp`

Zdrojový soubor s daty získanými z normy TNI 73 0302[2]. Jsou zde uloženy střední hodnoty slunečního ozáření na různě orientovanou a skloněnou plochu a hodnoty ozáření na nakloněnou plochu.

4.1 Průběh programu

Po spuštění simulačního modelu [5, snímek 44] se nejprve spočítá celkové teplo potřebné pro ohřev vody v zásobníku za jeden rok. Poté dojde k inicializaci instance solárního kolektoru, který bude na základě již získaných dat propočítávat teoreticky a reálně využitelnou tepelnou energii. Sклон a azimut umístění kolektorů si uživatel může zvolit pomocí vstupních argumentů. Ke konci k propočtu výdajů za elektřinu bez a se solárními kolektory, roční úspora a také délka navracení investice.

4.2 Spouštění simulačního modelu

Simulační model je před jeho první spouštěním nejdříve potřeba přeložit příkazem `make`. Po kompilaci můžete program spustit příkazem `make run` s předdefinovanými argumenty nebo pomocí `./collector [-a AZIMUT] [-s SKLON]`, kde azimut a sklon jsou volitelné argumenty (defaultní hodnota pro oba argumenty je nula). Rozsah validních hodnot argumentu `AZIMUT` je (0, 15, 30, 45, 60, 75, 90) a `SKLON` (0, 15, 30, 45, 60, 75, 90). Ostatní parametry, které mohou ovlivnit výpočet (např. spotřeba vody, koeficienty solárního kolektoru, ...) mohou být nastaveny v záhlaví zdrojového souboru `solarcollector.cpp`. Pomocí `make clean` můžete spustilý soubor smazat.

5 Experimenty

Cílem a podstatou těchto experimentů bylo nejdříve ověřit validaci modelu, tedy aby se výsledky i s akceptovatelnou mírnou odchylkou podobaly skutečnosti. Další podstatou experimentů bylo zjistit nejlepší azimut a sklon solárních kolektorů a dobu návratnosti investic. Ve všech experimentech počítáme s běžnou spotřebou teplé vody čtyřčlenné rodiny (tj. 80l/osoba) a solárním kolektorem CosmoSOL¹.

5.1 Postup experimentace

Experimentování by se dalo shrnout do následujících několika kroků:

- Vložení vstupních hodnot podle zadání experimentu
- Spuštění programu (simulace)
- Vypsání správných výsledků do tabulek²
- Tvorba grafické reprezentace výsledků
- Zhodnocení experimentu

5.2 Experiment 1

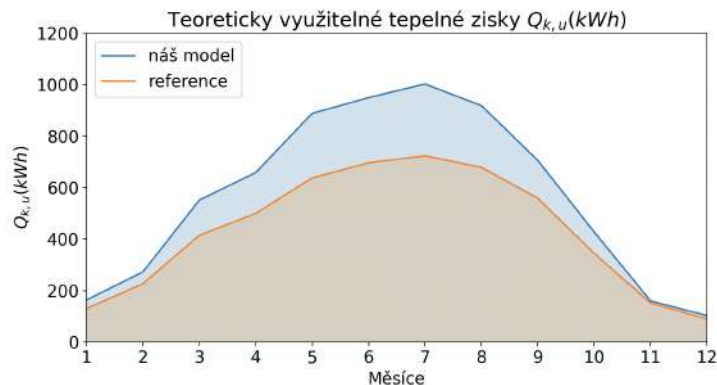
První experiment má za úkol ověřit validaci tohoto modelu. Používá reálné informace, které byly získány z reálných dat, jak statistických, tak z normy. Jsou použity celkem 4 kolektory, tzn. o celkové velikosti $10m^2$. Model je validován s parametry, že azimut kolektorů je orientován na jih (tedy 0°) a sklonem 60° .

¹<https://www.gienger.cz/wp-content/uploads/2015/04/CosmoSOL-8203-8253.pdf>

²Následující tabulky a grafy v tomto dokumentu jsou vlastním dílem.

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$Q_{k,u}$ (kWh)	164	273	552	659	889	950	1003	919	706	428	160	103

Tabulka 2: Modelem nameřené teoretické solární zisky



Obrázek 6: Porovnání reference a našeho modelu.

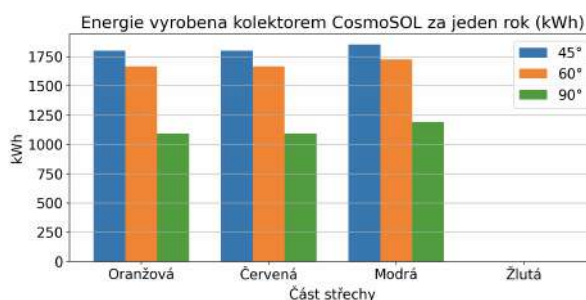
Výsledkem tohoto experimentu je úspěšná validace modelu. Protože jsme použili v modelu lokální data pro jižní Moravu. Ačkoliv se tedy výsledky mírně liší od referenčního, považujeme náš model za validní.

5.3 Experiment 2

Ve druhém experimentu se zaměříme na množství vyrobené tepelné energie v závislosti na azimutu a sklonu. Všechny kolektory budou ve sklonech 45° (což je minimální hodnota, protože střecha domu svírá s vodorovnou plochou stejný úhel), 60° a 90°. Budeme brát v úvahu plochy střechy, které jsme si zmínili v kapitole 2, viz 3. Nejprve si spočítáme energii vyrobenou jedním kolektorem.

Plocha		Oranžová	Červená	Modrá	Žlutá
Azimut		+45°	-45°	+15°	-160°
Teoreticky využitelné zisky (kWh)	45°	1801	1801	1851	null
	60°	1666	1666	1726	null
	90°	1092	1092	1193	null

Tabulka 3: Teoreticky využitelné zisky z jednoho kolektoru umístěným v různém sklonu a azimutu.



Obrázek 7: Výsledky z tabulky reprezentované v grafu.

Z tabulky můžeme vidět, že největší hodnoty dosáhneme na ploše orientované nejvíc k jihu. Pro žlutou plochu je třeba vzít v úvahu, že norma TNI 73 0302 rozsah pro takto velký azimut nedefinuje a z čistě druhého hlediska - tento kolektor je orientován na severní stranu, takže by příjem slunenční energie byl skutečně minimální. Nyní zohledníme i velikost dané plochy, tzn. kolik kolektorů na ně můžeme umístit (velikost ploch je je zmíněna zde viz 3, velikost plochy kolektoru je $2.5m^2$.)

Plocha		Oranžová	Červená	Modrá	Žlutá
Počet kolektorů		8	5	2	2
Azimut		+45°	-45°	+15°	-160°
Teoreticky využitelné zisky (kWh)	45°	12285	8583	3793	NULL
	60°	11353	7931	3538	NULL
	90°	7461	5210	2448	NULL

Tabulka 4: Teoreticky využitelné zisky s počtem kolektorů, které se můžou umístit na danou plochu střechy.

Velmi uspokojivé výsledky dostáváme opět pro sklon jak 45° tak i 60°. Můžeme zde vidět vliv tepelné ztráty solárních soustavy "p"(viz kapitola 3), která se se zvětšující soustavou narůstá.

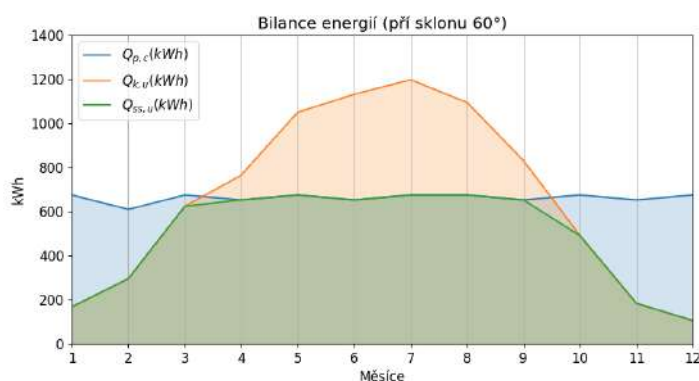
5.4 Experiment 3

Provedeme podobný experiment jako předchozí, kde ale budeme počítat optimální počet panelů vzhledem k spotřebě, abychom využili plný potenciál těchto kolektorů. Tentokrát budeme uvažovat pouze červenou plochu, protože je na rozdíl od oranžové (která je sice větší) namířená na jihovýchodní stranu, takže pojme během dne mnohem větší energii a je zde menší pravděpodobnost stínění.

Potřebné teplo pro ohřev vody: **7935 kWh**

Měsíce	Sklon	I	II	III	IV	V	VI	VII	VII	IX	X	XI	XII	Suma
$Q_{p,c}$		674	609	674	652	674	652	674	674	652	674	652	674	7935
$Q_{k,u}$	45°	157	285	638	848	1195	1292	1387	1188	859	469	170	95	8583
Rozdíl		517	324	36	0	0	0	0	0	0	205	482	579	2143
$Q_{k,u}$	60°	167	295	623	765	1050	1131	1197	1094	831	490	183	105	7931
Rozdíl		507	314	51	0	0	0	0	0	0	184	469	569	2094
$Q_{k,u}$	90°	160	256	456	480	538	562	654	732	664	431	172	96	5210
Rozdíl		514	353	218	172	136	90	20	0	0	243	480	578	2804

$Q_{p,c}$... teplo potřebné k ohřevu, $Q_{k,u}$... teoreticky využitelné teplo, * všechny hodnoty jsou v kWh



Z tabulky můžeme vidět, že ačkoliv nám sklon kolektorů v 45° poskytne stejný počet měsíců pokrytí celé spotřeby, tak sklon 60° je efektivnější v průběhu celého roku, kdy generuje více energie v mimo-letních měsících a celková suma je tedy nižší. Sklon v 90° se ze všech vyhodnotil jako nejméně vhodný.

5.5 Experiment 4

V poslední experimentu budeme zkoumat navrácení investic do solárních kolektorů v průběhu času. Do investiční ceny započítáme ceny solárních kolektorů, čerpadla a expanzních nádob. Teplo, které je potřeba dodat ze sítě na doohřátí zbylé vody budeme násobit cenou za elektřinu v nízkém tarifu, tzn. 4,259 Kč/kWh. Vstupními proměnnými do experimentu je mimo jiné opět 5 kolektorů orientovaných v azimutu -45° a sklonů definovaných v tabulce. Množství tepla je o něco málo vyšší než výsledky v minulém experimentu a to z důvodu, že účinnost ohřevu elektrickou energií je $\eta = 0.98^1$, takže potřebné teplo násobit konstantou 1.02.

Měsíc	Sklon	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Suma
TZS (kWh)	45°	528	330	37	0	0	0	0	0	0	209	492	590	2186
Výsledná cena (CZK)		2245	1407	156	0	0	0	0	0	0	890	2093	2515	9292
TZS (kWh)	60°	517	320	52	0	0	0	0	0	0	187	506	580	2162
Výsledná cena (CZK)		2202	1364	221	0	0	0	0	0	0	799	2154	2471	9079
TZS (kWh)	90°	524	360	220	175	139	92	20	0	0	274	490	589	2883
Výsledná cena (CZK)		2232	1533	938	747	590	390	86	0	0	925	2085	2510	12115

Tabulka 6: TZS ... teplo, které je potřeba získat ohřevem za pomoci topných spirál z elektrické sítě

Investiční náklady: 4x Solární kolektor CosmoSol 8253 **18 900 Kč²**, 2x expanzní nádoba Cosmo MAG-H 18L **1 119 Kč³**, a čerpadlo Wilo Yonos ST 15-130/7 **12 753 Kč = 109 491 Kč**

Cena za teplo, pokud by byla elektřina dodávána zcela ze sítě: $7935 \text{ (kWh)} \cdot 1,02^4 \cdot 4,259 \text{ (Kč)} = \underline{\underline{34471 \text{ Kč}}}$

		Energie, které je potřeba k ohřevu potřeba dodat ze sítě (kWh)	Cena (CZK)	Pokrytí solární soustavou (%)	Roční úspory (CZK)	Navrácení investice ROK MĚSÍC DEN
Sklon	45°	2186	9292	72,99	25 173	4R 4M 5D
	60°	2162	9079	73,61	25 391	4R 3M 23D
	90°	2630	12115	64,77	22 359	4R 10M 23D

Tabulka 7: Výpočet úspory, pokrytí a navrácení investice

Návratnost solárních kolektorů je poměrně rychlá (oproti například fotovoltaické soustavě⁵). Není zde zohledněna například cena práce, protože je to aktuálně velmi proměnlivá hodnota, která se v závislosti na počtu a dostupnosti odborných instalaterů rychle mění, a tedy nelze s touto hodnotou počítat.

¹<https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/97-vypocet-doby-ohrevu-teple-vody>

²<https://www.obchodsolar.cz/Cosmosol-8253>

³<https://www.gienger.cz/wp-content/uploads/2019/02/2019-014.COSMO-expanzni-nadoby.pdf>

⁴účinnost ohřevu elektřinou je $\eta = 0,98$, tzn. je třeba násobit konstantou 1,02

⁵Výpočet návratnosti FV můžete zjistit třeba zde <https://www.overleaf.com/project/637a1b5ab7038172fd0cc209>

5.6 Závěry experimentů

Bylo provedeno 4 nezávislé experimenty s různými zamerěními. Z experimentů lze odvodit chování systému s dostatečnou věrohodností. V průběhu experimentování bylo nalezeno a následně opraveno několik menších chybných matematických výpočtů. K zcela přesným výsledkům bychom museli kalkulovat s nepřehledným množstvím proměnných, které zahrnuje přesnou pozici slunce, přesný dopad slunečních paprsků na kolektorovou plochu až třeba po detailní ztráty energie v průběhu jejího přenosu do zásobníku vody.

6 Shrnutí simulačních experimentů a závěr

Simulačními experimenty provedenými na vytvořeném modelu byla ověřena jeho validita, protože se model chová analogicky k reálnému systému.

V rámci tohoto projektu vznikl nástroj pro kalkulaci efektivity solárních kolektorů a zmenšení výdajů na energii potřebné pro ohřev vody. Tento nástroj byl implementován v jazyce C++. Při spuštění je možné měnit některé vstupní parametry systému a provádět tak různé simulační experimenty. (Detailnější změny (jako třeba vlastnosti kolektoru) je možné měnit pouze ve zdrojovém kódu.) Výstupem jsou statistické informace o systému po skončení simulace.

Reference

- [1] Revize k TNI 73 0302. [online]. Dostupné z: http://www.stpcr.cz/?download=articles/vvi-2014-04_s184.pdf
- [2] TNI 73 0302. [online]. Dostupné z: <https://github.com/AveAvatar/vutfit-ims/tree/main/data>
- [3] EON: Ceník elektřiny. [online]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/getmedia/7796b898-d311-49e3-b934-25bc6a5d4ba7/Cenik-Komplet-elektrina-za-vernost-na-2-roky-4-22-distribucni-uzemi-EG-D.pdf?ext=.pdf>
- [4] Kachyňa, L.: Osobně nameřená data. [online], 3. prosinec 2022. Dostupné z: <https://github.com/AveAvatar/vutfit-ims/tree/main/data>
- [5] Peringer, P.; Hrubý, M.: Modelování a simulace, Text k přednáškám kursu Modelování a simulace na FIT VUT v Brně. [online], 22. listopad 2022, [vid. 2012-12-05]. Dostupné z: <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>
- [6] Reinberk, I. Z.: Zjednodušený výpočtový postup energetického hodnocení solárních soustav podle TNI 73 0302. [online]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/131-zjednodusena-balance-solarniho-kolektoru>

Obrázky

- [1] Solární regulátor [online]. [cit. 3.12.2022]. Dostupný na WWW: https://www.regulus.cz/download/navody/cz/nn_cz_navod_regulator-srs1-t-16823.pdf
- [2] Roční úhrn globálního slunečního záření v ČR [W/m²] [online]. [cit. 3.12.2022]. Dostupný na WWW: http://www.isofenenergy.cz/img/rocni_uhrn_small.png
- [3] Možné umístění solárních panelů (edit) [online]. [cit. 3.12.2022]. Dostupný na WWW: <https://www.mapy.cz>
- [4,5] Záběr slunečních paprsků v nejkratším/nejdelším dnu v roce [online]. [cit. 3.12.2022]. Dostupný na WWW: https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=en

Tabulky

- [1] Tabulka slunečního svitu na plochu solárního kolektoru [online]. [cit. 3.12.2022]. Dostupný na WWW: <https://github.com/AveAvatar/vutfit-ims/tree/main/data>