

Obsah

1. ÚVOD	6
2. SOLÁRNÍ ZÁŘENÍ	7
2.1 Globální záření	7
2.2 Sluneční záření v ČR	8
2.3 Orientace ke Slunci	8
3. SOLÁRNÍ SOUSTAVA	10
3.1 Princip solárních systémů	10
3.2 Typy solárních systémů	11
4. STANOVENÍ MNOŽSTVÍ TEPLA PROPŘÍPRAVU TUV A ROZLOŽENÍ SPOTŘEBYV PRŮBĚHU ROKU	13
4.1 Navrhovaný objekt	13
4.2 Stanovení množství energie pro přípravu TUV	14
4.3 Měsíční skutečná potřeba energie	15
5. KONSTRUKČNÍ NÁVRH SOLÁRNÍHO KOLEKTORU	19
5.1 Návrh materiálů	19
5.2 Základní bilanční rovnice	23
5.3 Výpočet teplot v solárním kolektoru	27
5.4 Výpočet parametrů kolektoru	28
5.5 Stanovení počtu kolektorů	31
5.6 Energetická bilance	32
6. SOLÁRNÍ OKRUH	36
6.1 Volba zásobníku a jeho dohřívání	36
6.2 Oběhové čerpadlo	38
6.3 Regulace provozu solární soustavy	40
7. VYHODNOCENÍ NÁVRHU Z EKONOMICKÉHO A ENVIROMENTÁLNÍHO HLEDISKA	42
7.1 Ekonomické zhodnocení	42
7.2 Enviromentální zhodnocení	45
8. ZÁVĚREČNÉ HODNOCENÍ	47
Seznam použité literatury	48
Seznam příloh	49

Seznam použitého značení

Symbol veličiny	Jednotka	Veličina
A	[m ² ·K/W]	redukováná teplota
CF	[Kč]	roční úspory
D	[m]	vnější průměr trubek
Gr _k	[-]	Grashofovo kritérium pro vzduchovou mezeru
Gr _v	[-]	Grashofovo kritérium pro vodu
H _k	[m]	zvolená výška absorberu
I _N	[Kč]	celkové investiční náklady
I _{str}	[W/m ²]	střední intenzita slunečního záření
L _k	[m]	šířka kolektoru
N _{NPR}	[Kč]	roční provozní náklady na dotápění a provoz kolektorů
N _{SPR}	[Kč]	celkové náklady na ohřev TUV před instalací kolektorů
Nu _k	[-]	Nuseltovo kritérium pro vzduchovou mezeru
Nu _k	[-]	Nuseltovo kritérium pro vodu
O	[ℓ]	objem zásobníku
P _i	[kW]	příkon oběhového čerpadla
Pr _s	[-]	Prandtlovo kritérium pro teplotu vody t _p
Pr _v	[-]	Prandtlovo kritérium pro teplotu vody t _v
Q _{A_den}	[kWh/m ²]	energie zachycená 1 m ² kolektorové plochy za den
Q _{Am}	[kWh/m ²]	energie zachycená celým kolektorovým polem za měsíc
Q _{dd}	[kWh]	energie dodatková
Q _e	[W/m]	teplo emitované do okolí

Q_{iz}	[W/m]	teplo odvedené prostupem do okolí zadní izolací
Q_k	[W/m]	teplo přijaté absorberem kolektoru
Q_{kp}	[KW]	požadovaný tepelný zisk kolektoru
Q_s	[W/m]	teplo odvedené prostupem do okolí přední transparentní vrstvou
Q_{S_den}	[kWh]	skutečná energie dopadající na kolektorovou plochu za den
Q_{skut}	[kWh]	skutečná denní spotřeba tepla pro ohřev TUV
Q_{sol}	[W/m ²]	intenzita slunečního záření
Q_{SPm}	[kWh]	skutečná měsíční spotřeba tepla pro ohřev TUV
$Q_{př}$	[kWh]	energie přebytková
Q_{S_teor}	[kWh]	teoretická energie dopadající na kolektorovou plochu za den
Q_{uzk}	[kWh]	energie užitková
$Q_{spotř}$	[kWh]	spotřeba tepla pro ohřev TUV
Q_v	[W/m]	teplo přijaté kapalinou
Re	[-]	Reynoldsovo kritérium
S_A	[m ²]	plocha kolektorového pole
S_k	[m ²]	plocha navrhovaného kolektoru
S_{pole}	[m ²]	instalovaná plocha kolektorového pole
T_s	[roky]	doba návratnosti
c_v	[J/kg·K]	měrná tepelná kapacita vody
d	[m]	vnitřní průměr trubky
g	[m ² /s]	gravitační zrychlení
h	[m]	výškový rozdíl mezi čerpadlem a kolektorem
k_{iz}	[W/m ² ·K]	prostup tepla z absorberu do okolí přes zadní izolaci

k_s	[W/m ² ·K]	prostup tepla z absorberu do okolí
k_v	[W/m ² ·K]	prostup tepla do vody
m_R	[m ³]	spotřeba vody za rok
m_V	[m ³]	množství vody
$m_{\dot{V}}$	[kg/s]	hmotnostní průtok vody
n_R	[-]	počet dní v roce
ρ	[-]	tepelné ztráty zásobníku a potrubního rozvodu
ρ_{tr}	[-]	počet trubek absorberu
S_{pl}	[Kč]	sazba za plyn
S_{el}	[Kč]	sazba za elektřinu
t_{str}	[°C]	střední teplota kolektoru
t_v	[°C]	teplota okolního prostředí
t_{vstup}	[°C]	teplota vstupní
$t_{výstup}$	[°C]	teplota výstupní
t_p	[°C]	teplota povrchu absorberu
t_o	[°C]	teplota okolí
t_1	[°C]	vstupní teplota do kolektorů
t_2	[°C]	výstupní teplota z kolektorů
V_{tr}	[m ³ /s]	rychlostní průtok vody
Z	[m]	rozteč trubek
α_k	[W/m ² ·K]	koeficient přestupu tepla z absorberu na vnitřní povrch skla
α_v	[W/m ² ·K]	koeficient přestupu tepla z trubky do vody
α_o	[W/m ² ·K]	koeficient přestupu tepla z vnějšího povrchu skla do okolí
β	[K ⁻¹]	koeficient objemové teplotní roztlačnosti
ε	[-]	emisivita
ξ	[-]	součinitel místní ztráty
η	[-]	účinnost kolektoru
ρ_v	[kg/m ³]	hustota vody

δ_{iz}	[m]	tloušťka izolace
δ_k	[m]	šířka vzduchové mezery
δ_s	[m]	tloušťka skla
σ	[W/m ² /K ⁴]	Stefan-Boltzmannova konstanta ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ W/m ² /K ⁴)
λ_{Cu}	[W/m·K]	tepelná vodivost mědi
λ_{iz}	[W/m·K]	tepelná vodivost izolace
λ_s	[W/m·K]	tepelná vodivost skla
λ_{vzd}	[W/m·K]	tepelná vodivost vzduchu
τ	[-]	poměrná doba slunečního svitu
τ_{skut}	[h]	skutečná doba slunečního svitu
τ_{teor}	[h]	teoretická doba slunečního svitu
ν_{vzd}	[m ² /s]	kinematická viskozita vzduchu
ΔT_v	[°C]	rozdíl teplot kapaliny na výstupu a vstupu do kolektoru
ΔP	[Pa]	tlakové ztráty v potrubí
ΔP_m	[Pa]	ztráty místní
ΔP_s	[Pa]	ztráta při spouštění čerpadla
$\Delta P_{tř}$	[Pa]	ztráty třením
L	[m]	délka potrubí

1. Úvod

Energie získána z obnovitelných zdrojů by měla být prioritou v dnešní moderní době a to nejen z ekonomických důvodů, že cena fosilních paliv roste a jejich zdroje jsou omezené. Jen se podívejme jaké množství emisí vzniká spalováním fosilních paliv. Na druhou stranu je třeba zohlednit efektivnost využitelnosti energie z alternativních a obnovitelných zdrojů(dále jen AOZE), která však nedosahuje takových účinností aby byla okamžitě a ve všech případech nahrazena touto “neomezenou“ a “čistou“ energií. Jednou z možností využití sluneční energie pojednává moje práce.

V úvodu této práce je jakýsi úvod o jednom z obnovitelných zdrojů energie a to o sluneční energii, využitelnosti v našich podmínkách ale i o koncepci solárních systémů, které využívají danou energii. V jedné z hlavních kapitol, se zabývám návrhem solárního kolektoru, na niž navazuje další hlavní kapitola a to návrh samotného systému. Práce je završena jakýmsi závěrečným hodnocením, ve kterém se zabývám ekonomickým a enviromentálním přínosem solárního systému.

2. SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ

Slunce je z fyzikálního hlediska fúzním reaktorem, jehož reakce vznikají neustále v samotném centru naší hvězdy. Na základě enormně velké hmotnosti $2 \cdot 10^{27} t$ a s ní spojené hmotné přitažlivosti $28g$ ($1g=9,81m/s^2$) se atomy taví, v podstatě se mění atomy vodíku na atomy hélia. Energie uvolněná ze Slunce dopadá po 8,3 minutách ($150000000km$) na osvětlenou část zeměkoule o velikosti $1,74 \cdot 10^{14} J$. Část této energie se odrazí, část se rozptýlí a pohltí v atmosféře, zbylá energie dopadne při jasné obloze až na zemský povrch. Na hranici Zemské atmosféry je intenzita slunečního záření 1340 až $1390 W/m^2$, což je odborně nazváno sluneční konstantou (I_0). Slunce září jako absolutně černé těleso povrchové teplotě přibližně $5870 K$.

2.1 Globální záření

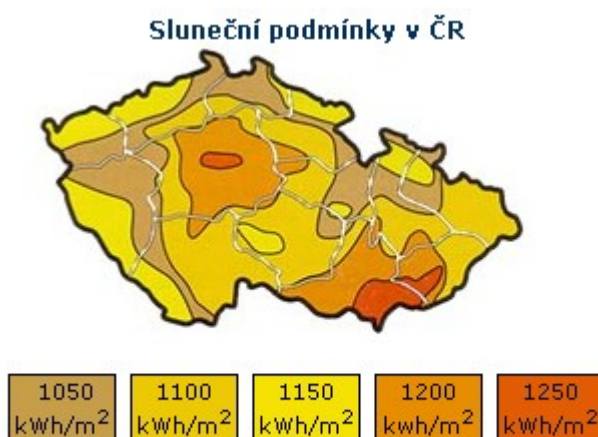
Globální záření se skládá z přímého a difúzního záření. Přímé záření je dopadající na Zemi při jasné, bezmračné obloze, aniž by měnilo směr a bylo rozptýleno. Rozptylem přímého záření v mracích a na částech molekul v atmosféře dochází k difúznímu záření. Přichází na zemi ze všech směrů. Zatímco v létě tvoří difúzní záření asi 50% globálního záření (v měsíčním průměru), v zimě je tento podíl díky oblačnému počasí vyšší, přibližně o 10%. Proto je třeba použít technologie, které dobře využívají i difúzního záření. Přehled vlivu difúzního záření je zobrazen v tabulce č.1.

	Globální záření	Difúzní záření
	[W/m ²]	[%]
Modré nebe	800-1000	10
Zamlžené nebe	600-900	>50
Mlhavý podzimní den	100-300	100
Zamračený zimní den	50	100

[tabulka č.1]

2.2 Sluneční záření v ČR

Česká Republika je díky svému geografickému rozložení dobrým místem pro instalaci solárního systému. Na naše území dopadne na 1m^2 vodorovné plochy zhruba 950 - 1340 kWh energie ročně. Množství slunečních hodin je přitom na našem území mezi 15:00h - 21:00h, toto je fakt s kterým je třeba při návrhu solárního systému počítat. Celková doba slunečního svitu (jasný den) se v našich podmínkách pohybuje v rozmezí 1500 - 1700 h/rok. Ve vhodných oblastech, jako například v nížinách na jižní Moravě je udávaná doba slunečního svitu dokonce až 2000 h/rok. Proto na letní měsíce v roce připadá 3/4 slunečního záření. Oproti tomu v zimních měsících dopadne pouze 1/6 ročního souhrnu energie. Souhrný přehled globálního záření dopadajícího na území České republiky pro rok 2008 je zobrazen v [obr. č.1].



[obr. č.1]

2.3 Orientace ke slunci

Orientace kolektoru ke slunci dává možnost optimalizovat příjem sluneční energie. Největší zisky by byly docíleny, sledováním sluneční dráhy. Avšak přizpůsobení konstrukce je velice ekonomicky náročné. Při sklonu a při orientaci kolektorů existuje relativně široké pásmo, v němž je využití možné a nedochází v něm k významným ztrátám. Ideální orientaci pro kolektory je jih, kde malé výchylky východu a západu slunce mají v přepočtu zanedbatelnou ztrátu. Avšak sklon kolektoru se různí jak pro letní tak i pro zimní období. Sklon s největším ziskem energie pro letní období je 30° a pro zimní období je ideální sklon

kolektoru 60° . Pro celoroční využití se tedy volí v rozmezí mezi 30° a 60° , optimálně v rozmezí 45° až 55° .

3. SOLÁRNÍ SOUSTAVA

Solárním systémem rozumíme zařízení, které se skládá z různých součástí, jejichž celek zajišťuje co nejdokonalejší přeměnu slunečního záření na tepelnou energii. Velice často však dochází v terminologii k záměně solárních kolektorů a solárních článků. Solární články slouží k transformaci sluneční energie v energii elektrickou, naopak solární kolektor transformuje sluneční energii v teplo. V práci se dále budu jen zabývat solární soustavou a solárními kolektory, nikoli fotovoltaickými. Samostatný solární kolektor však k přeměně energie nestačí. Pro využití solární energie jsou nutné ještě další součásti, které jako jednotný celek teprve tvoří onen solární systém.

3.1 Princip solárních systémů

Samotný princip solárního systému je velice jednoduchý. Sluneční záření dopadající na solární kolektor, ve kterém se nachází absorbér, způsobuje jeho zahřívání. Na daný prvek jsou zespoda přiletovány nejčastěji měděné trubky, v nichž proudí médium. Jednoduchá elektronická regulace pomocí teplotních čidel vyhodnocuje rozdíl teplot v kolektoru a zásobníku, do kterého putuje ohřáté médium. Toto je jakýsi základní princip solárního systému, ve skutečném systému je třeba počítat s dalšími prvky zařízení jako je expanzní nádoba, oběhové čerpadlo, regulační prvky, atd...



[obr. č. 2]

3.2 Typy solárních systémů

Princip solárních systémů již vysvětlen byl, dále je třeba kategorizovat typy solárních systémů. Slunečního záření můžeme využívat v zásadě dvojm způsobem:

- Pasivně
- Aktivně

Pasivní systém je v nejjednodušší variantě nevyžaduje žádná zvláštní zařízení, v podstatě se jedná o bezprostřední využití skleníkového jevu a energeticky cílená konstrukce a orientace stavby pro využití této energie.

Aktivní systémy jsou solární kolektory nebo parabolické reflektory, fotovoltaické kolektory. Jedná se o soustavu prvků, které slouží k přeměně energie slunečního záření na teplo.

Základní dělení dle období provozu:

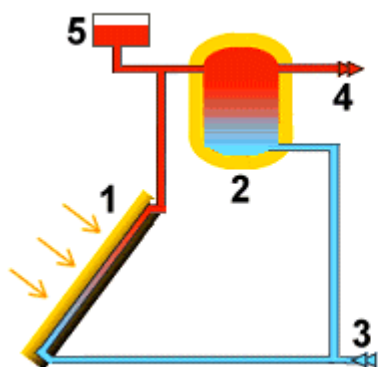
- Sezónní systémy
- Celoroční systémy

Sezónní systémy se sezónním provozem se nejčastěji používají pro ohřev vody venkovních bazénu. Proto jsou provozovány pouze v letních měsících. Zatím co celoroční systémy jsou provozovány celoročně a to pro přípravu TUV, nebo v kombinaci s ohřevem bazénové vody, či dokonce s dohříváním.

Dále se mohou solární systémy dělit na:

- Samotížné
- Hnané

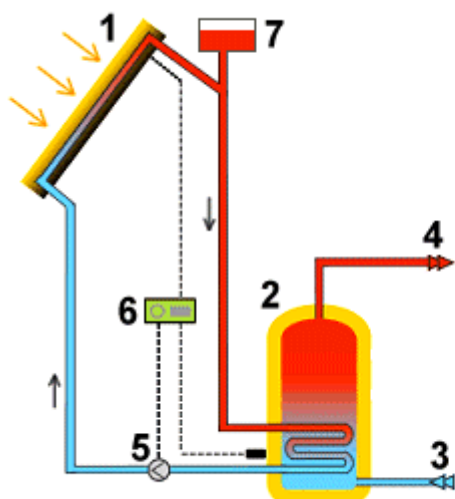
U samotížného systému se kapalina v kolektoru vlivem dopadajícího slunečního záření rozpíná, čímž samovolně stoupá potrubím vzhůru. Studená kapalina klesá dolů do kolektoru. Tento systém pracuje na základě "Termosférického efektu". K funkčnosti nepotřebuje hnací jednotku ani regulační prvky. Základním faktorem však je, aby vodní zásobník byl umístěn výše než solární kolektor [obr. č. 3].



1. solární kolektor
2. zásobník teplé vody
3. přívod studené vody
4. odběr teplé vody
5. expanzní nádoba

[obr. č. 3]

V hnaném systému je princip ohřevu média obdobný. Avšak cirkulaci média mezi solárním kolektorem a zásobníkem je využíváno hnací jednotky. Zde je získaná energie předána vodě v zásobníku prostřednictvím tepelného výměníku. Ochlazené médium pak pomocí hnací jednotky putuje zpět do kolektoru [obr. č. 4].



1. solární kolektor
2. tepelný výměník
3. přívod studené vody
4. odběr teplé vody
5. oběhové čerpadlo
6. automatická regulace
7. expanzní nádoba

[obr. č. 4]

4. STANOVENÍ MNOŽSTVÍ TEPLA PRO PŘÍPRAVU TUV A ROZLOŽENÍ V PRŮBĚHU ROKU

4.1 Navrhovaný objekt

Solární zařízení je navrhované pro rodinný dům celoročně obydlený 4 osobami. Jedná se o dvoupodlažní dům postavený v 80. letech 20. století nacházející se v Moravskoslezském kraji v obci Hrádek ve Slezsku, ležící v nejvýchodnější části republiky a rozprostírající se v nadmořské výšce 353 m.n.m.

Daný objekt nacházející má střechu se sklonem 45° a je odkloněna jižním směrem o 15°. Nakloněná střecha je plně k dispozici pro instalaci solárních kolektorů a v okolí nestojí žádné vyšší budovy nebo stromy bránící v přímému oslunění.

4.2 Stanovení potřeby množství energie pro ohřev TUV

Potřebné množství energie musí vycházet ze zjištěné potřeby teplé vody pro celou rodinu v průběhu celého roku. Pro určení potřeby TUV v tomto konkrétním případě vycházím z denní spotřeby vody vypočítané z celoroční spotřeby TUV vody uvedené na vyúčtování topné sezóny za rok 2007. Tato spotřeba vody byla stanovena na množství 131,56 m³ za daný rok. V ideálním případě se stanovení množství tepla děje měřením, pro malé soustavy je to však příliš náročné a neekonomické. Pro určení množství potřebné energie lze taky vycházet z tabulovaných hodnot, které nalezneme v odborné literatuře.

Denní spotřeba tepla pro ohřev TUV**Výpočet množství vody**

$$m_v = \frac{m_R}{n_R}$$

$$m_v = \frac{131,56}{365}$$

$$m_v = 0,36044 \text{ m}^3 / \text{den}$$

Kde	m_R ...spotřeba vody za rok	[m ³]
	n_R ...počet dní v roce	[-]

Z dané rovnice vyčteme, že denní spotřeba vody na jeden den pro 4-člennou rodinu je 360,44 l. Přičemž na každého člena rodiny připadá denní spotřeba na 90,11 l/den.

Denní spotřeba tepla pro ohřev TUV pro 4 osoby

$$Q_{sport} = c_p \cdot \rho_v \cdot m_v \cdot (t_2 - t_1)$$

$$Q_{sport} = 4174 \cdot 998,1 \cdot 0,36044 \cdot (50 - 10)$$

$$Q_{sport} = 60064722,18 \text{ J} = 16,684 \text{ kWh} / \text{den}$$

Kde	Q_{spotr} ...denní spotřeba tepla	
	[kWh/den]	
	c_p ...měrná tepelná kapacita vody	[J/kg·K]
	ρ_p ...hustota vody	[kg/ m ³]
	t_2 ...výstupní teplota	[°C]
	t_1 ...vstupní teplota	[°C]

Denní skutečná spotřeba tepla pro ohřev TUV pro 4 osoby

Při bilancování potřeby tepla je kromě denní potřeby tepla Q_{sport} nutné uvažovat i denní tepelné ztráty solární soustavy (potrubí, zásobník). Míra tepelných ztrát se vyjadřuje zpravidla přírážkou na tepelné ztráty p . Hodnota přírážky na tepelné ztráty solární soustavy pro přípravu teplé užitkové vody se pohybuje mezi 5 až 15 %. Ve svém příkladu volím tuto hodnotu přírážky $p=0,1$, tedy 10%.

$$Q_{skut} = Q_{spotr} \cdot (1 + p)$$

$$Q_{skut} = 16,648 \cdot (1 + 0,1)$$

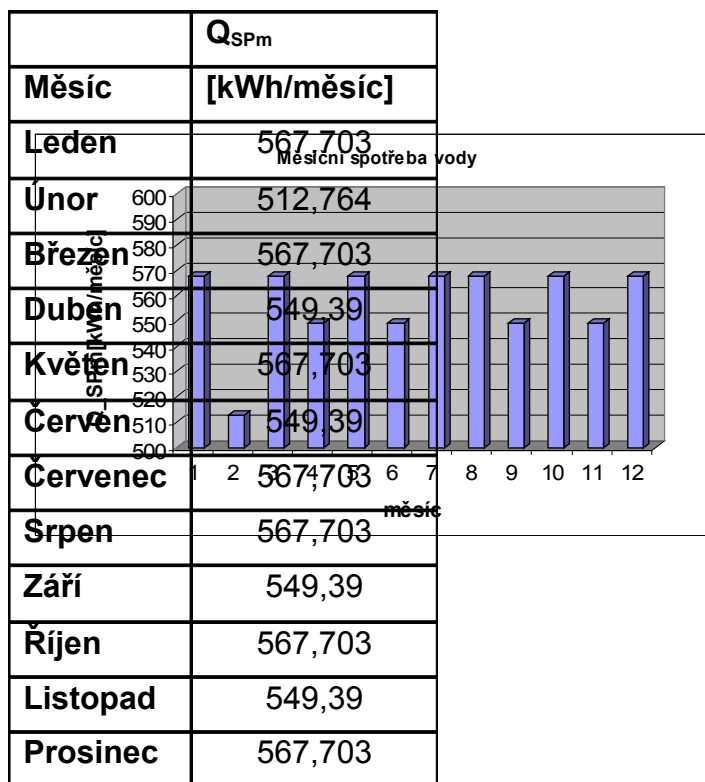
$$Q_{skut} = 18,313 \text{ kWh} / \text{den}$$

Kde p ...tepelné ztráty soustavy

[-]

4.3 Měsíční skutečná potřeba energie

Spotřeba vody vynásobená počtem dnů v daném měsíci. Výsledná hodnota vypovídá kolik energie bude potřeba k ohřátí daného množství vody.



[graf č. 1]

[tabulka č. 2]

Skutečná dopadající energie

Tato veličina pojednává o množství dopadajícího slunečního záření pro daný azimut a sklon sluneční plochy.

$$Q_{s_den} = Q_{s_teor} \cdot \tau$$

$$Q_{s_den} = 7,42 \cdot 0,37$$

$$Q_{s_den} = 2,7454 \text{ kWh} / \text{m}^2$$

$$\tau = \frac{\tau_{skut}}{\tau_{teor}}$$

Kde	Q_{s_teor} ...teoretická dopadající energie za den	[kWh/m ²]
	τ ...poměrná doba slunečního svitu	[-]
	τ_{skut} ...skutečná doba slunečního svitu	[h]
	τ_{teor} ...teoretická doba slunečního svitu	[h]

	Q_{s_teor}	τ	Q_{s_den}
	[kWh/m ²]	[-]	[kWh/m ²]
Leden	3,16	0,27	0,8532
Únor	4,79	0,3	1,437
Březen	6,42	0,3	1,926
Duben	7,42	0,37	2,7454
Květen	8,22	0,47	3,8634
Červen	8,55	0,45	3,8475
Červenec	8,22	0,55	4,521
Srpen	7,42	0,55	4,081
Září	6,42	0,43	2,7606
Říjen	4,79	0,38	1,8202
Listopad	3,16	0,19	0,6004
Prosinec	2,17	0,18	0,486

[tabulka č. 3]

Doba slunečního svitu je vztažena pro 50° severní šířky, hodnoty poměrné doby slunečního svitu beru z lokality Ostrava, protože tyto hodnoty z této lokality se nacházejí nejbližše mému místu.

Určení intenzity dopadajícího slunečního záření

Tyto výpočty jsou provedeny pro každý měsíc zvlášť, viz. tabulka č. 4..

Střední intenzita záření

(pro měsíc duben)

$$I_{str} = \frac{Q_{Steor}}{\tau_{teor}}$$

$$I_{str} = \frac{7,42}{13,9}$$

$$I_{str} = 0,534 \text{ kW} / \text{m}^2$$

Redukovaná teplota

$$A = \frac{t_{str} - t_v}{I}$$

$$A = \frac{50 - 8,44}{534}$$

$$A = 0,0778 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$$

Kde: t_{str} ...střední teplota vody [°C]
 t_v ... střední teplota vzduchu v době slunečního svitu [°C]
I...intenzita slunečního záření [kW/m²]

Střední teplota kolektoru se bude měnit s chladnějším a teplejším obdobím (teplotou okolí). Z tohoto důvodu se budou měnit nároky na výstupní kapalinu podle období, ale také s požadavkem na výstupní teplotu, protože v chladnějším období nezískám tolik potřebné energie ze solárních kolektorů pro ohřev jako v letních měsících. Zvolil jsem tedy vstupní teploty pro zimní měsíce a letní měsíce 5 a 15°C, výstupní teploty 30 a 50°C. Střední teploty vychází:

$$t_{str} = \frac{t_{výstupní} + t_{vstupní}}{2}$$

Letní režim:(duben-říjen)

$$t_{vstupní} = 15^{\circ}\text{C}$$

$$t_{výstupní} = 50^{\circ}\text{C}$$

$$t_{str} = 32,5^{\circ}\text{C}$$

Zimní režim:(listopad-březen)

$$t_{vstupní} = 5^{\circ}\text{C}$$

$$t_{výstupní} = 25^{\circ}\text{C}$$

$$t_{str} = 15^{\circ}\text{C}$$

	t_{str}	t_v	I	A
	[$^{\circ}\text{C}$]	[$^{\circ}\text{C}$]	[kW/m^2]	$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$]
Leden	15	0,78	0,382566586	0,03717
Únor	15	0,14	0,473320158	0,031395
Březen	15	4,96	0,535	0,018766
Duben	32,5	8,44	0,53381295	0,045072
Květen	32,5	13,58	0,523566879	0,036137
Červen	32,5	16,82	0,523255814	0,029966
Červenec	32,5	19,36	0,523566879	0,025097
Srpen	32,5	19,1	0,53381295	0,025102
Září	32,5	13,66	0,535	0,035215
Říjen	32,5	8,2	0,473320158	0,051339
Listopad	15	3,68	0,382566586	0,02959
Prosinec	15	0,294	0,276433121	0,053199

[tabulka č. 4]

5. KONTRUKČNÍ NÁVRH SOLÁRNÍHO KOLEKTORU

Výpočet kolektoru byl proveden pro určité zadané podmínky v programu EES a Excel. V tomto návrhu využívám znalostí z předmětů “Alternativní a obnovitelné zdroje, Sdílení tepla a Přenos tepla a hmoty “

Zadané parametry

$$Q_{\text{sol}} = 800 \text{ W/m}^2$$

$$t_0 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{strv}} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

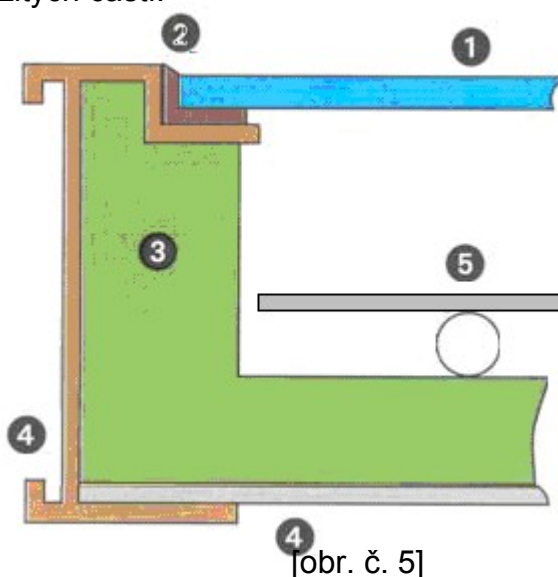
$$Q_{\text{kp}} = 2 \text{ kW}$$

5.1 Návrh materiálů

Pro důkladný výpočet solárního kolektoru jsem si musel navrhnout jednotlivé materiály, pro které jsem si v odborné literatuře našel potřebné parametry (tepelná vodivost, měrná tepelná kapacita, hustota, ...). Základní schéma kolektoru je na obr. 5, na kterém jsou zobrazeny všechny hlavní části kolektoru.

Solární kolektor se skládá z těchto důležitých částí:

1. transparentní kryt
2. těsnění
3. izolace
4. rám
5. absorbér



Nedílnou součástí kolektoru je i selektivní vrstva která se nachází na povrchu absorberu a napomáhá lepšímu přestupu tepla k teplotnímu médiu.

Transparentní kryt

Základním principem transparentního krytu je čím jak nejvyšší propustnost slunečního záření a zadržování zpětného dlouhovlnného vyzařování energie. Tím se redukuje tepelné ztráty do okolí vzniklé působením větru. Nejpoužívanějším materiálem na transparentní kryt je bezpečnostní sklo chudé na železo, tepelně zpracované (tvrzené). Vykazuje vysokou propustnost světla a je dobře odolné vůči přírodním vlivům. Občas se na trhu objevuje i transparentní kryt z polykarbonátu (PC), který má oproti tvrzenému sklu nižší hmotnost avšak nedosahuje takové propustnosti světla. I delší životnost je na straně tvrzeného skla, které je odolnější proti prašnosti a mechanickému poškození. Z těchto důvodů volím ve své práci:

Bezželeznaté sklo tvrzené

- tloušťka $\delta_s = 4 \text{ mm}$
- maximální teplota $T_{\max} < 200 \text{ °C}$
- propustnost $\tau = 91 \text{ %}$
- tepelná vodivost $\lambda_s = 76 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$

Zadní izolace

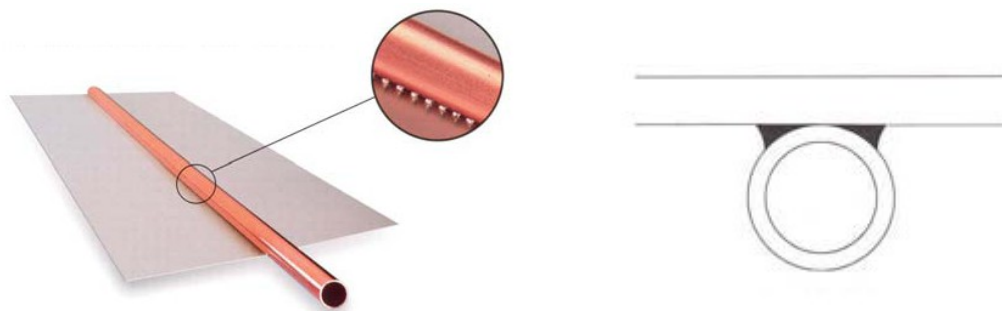
K tepelné ochraně solárního kolektoru ze spodní a bočních stran se často používají tvrdé desky z polyuretanu (PU), z důvodu jejich pevnosti, která napomáhá stabilitě celého kolektoru. Avšak tento materiál není odolný při vyšší teplotě ($<130^{\circ}\text{C}$). Proto volím do své práce materiál izolace minerální vlnu, která je tepelně odolnější avšak má nepatrně menší tepelnou vodivost oproti polyuretanu.

Minerální vlna

- tloušťka $\delta_{iz} = 0,06 \text{ m}$
- maximální teplota $T_{\max} < 200 \text{ °C}$
- tepelná vodivost $\lambda_{iz} = 0,04 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$

Absorbér

Měděný absorbér má velmi dobrou tepelnou vodivost, dobře se zpracovává, je odolný vůči korozi a má vysokou životnost, jedinou nevýhodou je jeho vysoká pořizovací cena. Typ absorbéru, který byl navrhnut je lamelový [obr. č. 6], který se skládá z měděné trubky, na které je navařen měděný lamelový pás.



[obr. č. 6]

Měď

- tloušťka $\delta_{Cu} = 0,001 \text{ m}$
- hustota $\rho = 8900 \text{ kg/m}^3$
- tepelná vodivost $\lambda_{Cu} = 399 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

Selektivní vrstva

Selektivní vrstvou považujeme povrstvení horní části absorbéru zvyšující účinnost přechodu slunečního záření do vody a snižuje tepelné ztráty kolektoru. Dnes nejčastěji používaným povrstvením je černý chrom.

Černý chrom

- pohltivost $\alpha = 95 \%$
- emisivita $\varepsilon = 5 \%$
- způsob nanášení – pásová galvanizace

Rám

Funkcí rámu je sjednotit všechny předešlé komponenty solárního kolektoru v jeden celek. Musí trvale chránit absorbér a tepelnou izolaci před vlivy počasí aby nebyla narušena jejich funkčnost. Rám má také důležitou funkci ve smyslu instalace celého zařízení na stěny, nebo střechy budov. Hliníkový rám je

nejpoužívanějším materiálem pro rámy kolektoru, jelikož hliníkové rámy jsou snadno zpracovávány a cenově dostupné.

Hliník

- tloušťka $\delta = 0,002 \text{ m}$
- hustota $\rho = 2700 \text{ kg/m}^3$
- tepelná vodivost $\lambda_{Al} = 204 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$

Těsnění

Funkce tohoto komponentu spočívá při skládání kolektoru a zabraňuje mechanickému znečištění transparentního krytu o rám kolektoru a také v průniku vody při dešťových srážkách do kolektoru.

Silikonový kaučuk MVQ

- rozmezí teplot $- 60 \div 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Návrh uspořádání a geometrie potrubí

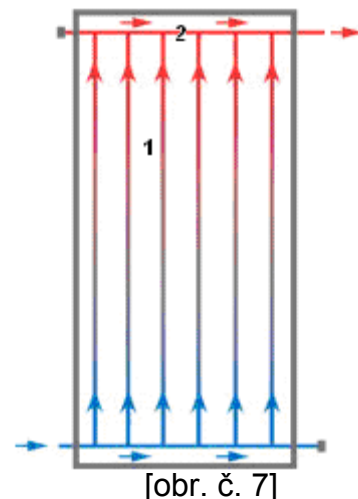
Veškeré trubky absorbéru tak i rozvodná se sběrnou trubkou jsou z měděného materiálu jak už bylo uvedeno v předchozí kapitole. Rozměry potrubí volím z odborné literatury a v rozměrech, ve kterých bývají nejčastěji používány. Geometrie potrubí je konstruována na principu [obr. č. 7].

Trubky absorbéru

- Označení - TR & 10 x 1 ČSN 42 8710
- Hmotnost - $m = 0,24 \text{ kg/m}$
- Rozteč trubek - $z = 0,04 \text{ m}$

Rozvodná a sběrná trubka

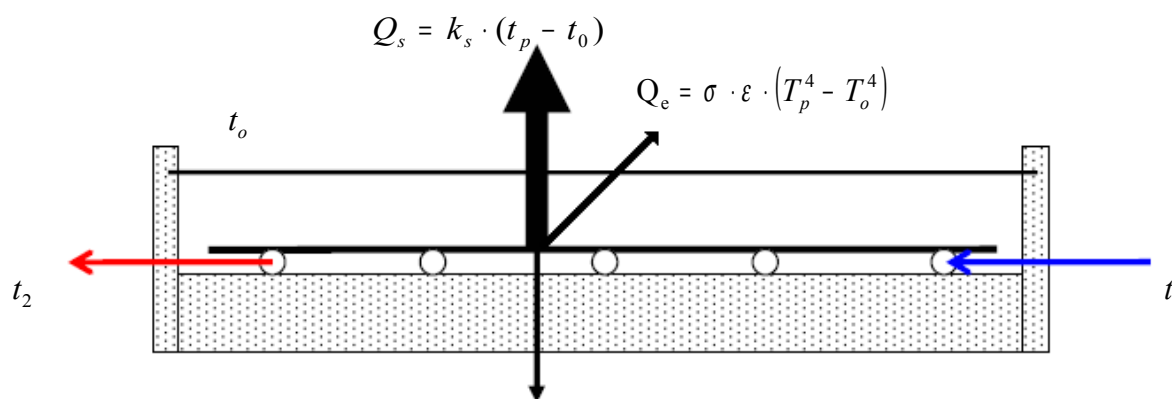
- Označení - TR & 16 x 1,5 ČSN 42 8710
- Hmotnost - $m = 0,581 \text{ kg/m}$



1.trubky absorbéru

2.rozvodná a sběrná trubka

5.2 Základní bilanční rovnice



$$Q_{iz} = k_{iz} \cdot (t_p - t_o)$$

[obr. č. 8]

$$Q_v = Q_k - Q_s - Q_{iz} - Q_e$$

$$Q_v = 1383,2 - 83,464 - 47,723 - 24,192$$

$$Q_v = 1227,821 \text{ W/m}$$

Pozn.: všechny tepla jsou ve W na 1 metr šířky kolektoru

Kde: Q_k ...teplo přijaté absorberem [W/m]

Q_k ...teplo odvedené do okolí přední transp. vrstvou [W/m]

Q_k ...teplo odvedené do okolí zadní vrstvou [W/m]

Teplo přijaté absorberem kolektoru

$$Q_k = Q_{sol} \cdot \tau \cdot \alpha \cdot H_k$$

$$Q_k = 800 \cdot 0,91 \cdot 0,95 \cdot 2$$

$$Q_k = 1383,2 \text{ W/m}$$

Pozn.: Výšku absorberu volím, protože prostup tepla trubkou závisí na její délce (W/m/K). Níže bude vypočtena i šířka a celková plocha absorberu.

Teplu odvedené prostupem do okolí přední transparentní vrstvou:

$$Q_s = k_s \cdot (t_p - t_o) \cdot H_k$$

$$Q_s = 1,132 \cdot (51,88 - 15) \cdot 2$$

$$Q_s = 83,464 \text{ W / m}$$

Výpočet prostupu tepla z absorberu do okolí

$$k_s = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_k} + \frac{\delta_s}{\lambda_s} + \frac{1}{\alpha_o}}$$

$$k_s = \frac{1}{\frac{1}{1,193} + \frac{0,004}{76} + \frac{1}{22}}$$

$$k_s = 1,132 \text{ W / m}^2 \cdot \text{K}$$

Pozn.: α_o – koeficient přestupu tepla z vnějšího povrchu skla do okolí

$$(\alpha_o = 22 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K})$$

Výpočet koeficientu přestupu tepla z absorberu na vnitřní povrch skla

$$\alpha_k = \frac{Nu_k \cdot \lambda_{vzd}}{\delta_k}$$

$$\alpha_k = \frac{2,275 \cdot 2,621}{0,05}$$

λ_{vzd} – při t_{str} ... výpočet proveden níže

$$\alpha_k = \underline{\underline{1,193 \text{ W / m}^2 \cdot \text{K}}}$$

 Nu_k – Nuseltovo kritérium pro vzduchovou mezeru

$$Nu_k = 0,065 \cdot Gr_k^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\delta_k}{H_k} \right)^{\frac{1}{9}}$$

$$Nu_k = 0,065 \cdot 1146652^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{0,05}{2} \right)^{\frac{1}{9}}$$

$$Nu_k = \underline{\underline{2,275}}$$

- svislá štěrbina – Kreith (sklon kolektoru > 40°)

Gr_k – Grashofovo kritérium pro vzduchovou mezeru

$$Gr_k = \frac{g \cdot \delta_k^3}{\nu_{vzd}^2} \cdot \beta \cdot \Delta T_v$$

$$Gr_k = \frac{9,81 \cdot 0,05^3}{(1,649 \cdot 10^{-5})^2} \cdot 3,252 \cdot 10^{-3} \cdot 10$$

$$Gr_k = \underline{\underline{146652}}$$

$$\beta = \frac{1}{T_{str}}$$

$$\beta = \frac{1}{273,15 + 34,39}$$

$$\beta = \underline{\underline{3,252 \cdot 10^{-3} K^{-1}}}$$

Poznámka $\Delta T_v = 10 \text{ K}$rozdíl mezi vstupní a výstupní hodnotou vody z kolektoru

Tepl odevdané přestupem do okolí přes zadní izolaci

$$Q_{iz} = k_{iz} \cdot (t_p - t_o) \cdot H_k$$

$$Q_{iz} = 0,647 \cdot (51,88 - 15) \cdot 2$$

$$Q_{iz} = 47,723 \text{ W / m}$$

Výpočet prostupu tepla z absorberu do okolí přes zadní izolaci

$$k_{iz} = \frac{1}{\frac{\delta_{iz}}{\lambda_{iz}} + \frac{1}{\alpha_o}}$$

$$k_{iz} = \frac{1}{\frac{0,06}{0,04} + \frac{1}{22}}$$

$$k_{iz} = 0,647 \text{ W / m}^2 \cdot \text{K}$$

Teplo emitované do okolí

$$Q_e = \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_p^4 - T_o^4) \cdot H_k$$

$$Q_e = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,05 \cdot [(273,15 + 51,88)^4 - (273,15 + 15)^4] \cdot 2$$

$$Q_e = 24,192 \text{ W / m}$$

Výpočet koeficientu přestupu tepla z trubky do vody α_v

$$\alpha_v = \frac{Nu_v \cdot \lambda_v}{d}$$

$$\alpha_v = \frac{8,110 \cdot 0,6472}{0,008}$$

$$\alpha_v = \underline{\underline{657,137 \text{ W / m}^2 \cdot \text{K}}}$$

Pozn: tepelná vodivost vody při $t_v = 50 \text{ }^\circ\text{C}$

 Nu_v – Nuseltovo kritérium pro laminární proudění v trubce

$$Nu_v = 0,17 \cdot Re^{0,33} \cdot Pr_v^{0,43} \cdot Gr_v^{0,1} \cdot \left(\frac{Pr_v}{Pr_s} \right)^{0,25}$$

$$Nu_v = 0,17 \cdot 429,7^{0,33} \cdot 3,54^{0,43} \cdot 502863^{0,1} \cdot \left(\frac{3,54}{3,43} \right)^{0,25}$$

$$Nu_v = \underline{\underline{8,110}}$$

Pozn: Pr_v – Prandtlovo kritérium pro teplotu vody t_v

Pr_s - Prandtlovo kritérium pro teplotu vody t_p

 Re – Reynoldsovo kritérium

$$Re = \frac{v_{tr} \cdot d}{\nu_v}$$

$$Re = \frac{0,0298 \cdot 0,008}{5,56 \cdot 10^{-7}}$$

$$Re = \underline{\underline{429,7}}$$

Gr_v – Grashofovo kritérium

$$Gr_v = \frac{g \cdot d^3}{\nu^2} \cdot \beta_v \cdot \Delta T_v$$

$$Gr_v = \frac{9,81 \cdot 0,008^3}{(5,56 \cdot 10^{-7})^2} \cdot 3,095 \cdot 10^{-3} \cdot 10$$

$$Gr_v = \underline{\underline{502863}}$$

$$\beta_v = \frac{1}{T_v}$$

$$\beta_v = \frac{1}{273,15 + 50}$$

$$\beta_v = \underline{\underline{3,095 \cdot 10^{-3} K^{-1}}}$$

Výpočet koeficientu prostupu tepla do vody pro 1 m² plochy kolektoru

$$k_{vc} = \frac{k_v}{z + D}$$

$$k_{vc} = \frac{16,491}{0,04 + 0,01}$$

$$k_{vc} = \underline{\underline{329,828 W / m^2 \cdot K}}$$

5.3 Výpočet teplot v solárním kolektoru**Teplota povrchu absorbéru**

$$t_p = \frac{Q_v}{k_{vc} \cdot H_k} + t_v$$

$$t_p = \frac{1227,821}{329,828 \cdot 2} + 50$$

$$t_p = \underline{\underline{51,88^\circ C}}$$

Teplota vnitřního povrchu skla

$$t_k = t_p - \frac{Q_s}{\alpha_k \cdot H_k}$$
$$t_k = 51,88 - \frac{83,464}{1,193 \cdot 2}$$
$$t_k = \underline{\underline{16,89^\circ C}}$$

Střední teplota

$$t_{str} = \frac{t_p + t_k}{2}$$
$$t_{str} = \frac{51,88 + 16,89}{2}$$
$$t_{str} = \underline{\underline{34,39^\circ C}}$$

5.4 Výpočet parametrů kolektoru**Šířka kolektoru:**

$$L_k = \frac{Q_{kp}}{Q_v}$$
$$L_k = \frac{2000}{1227,821}$$
$$L_k = 1,629 m$$

Aktivní plocha kolektoru:

$$S_k = H_k \cdot L_k$$
$$S_k = 2 \cdot 1,629$$
$$S_k = 3,258 m^2$$

Hmotnostní průtok vody kolektorem:

$$\dot{m}_v = \frac{Q_v}{c_v \cdot \Delta T_v}$$

$$\dot{m}_v = \frac{1227,821}{4174 \cdot 10}$$

$$\dot{m}_v = \underline{\underline{0,0294 \text{ kg/s}}}$$

Pozn: c_v - měrná tepelná kapacita vody pro teplotu $t_v = 50^\circ\text{C}$

Rychlostní průtok vody kolektorem

$$v_{tr} = \frac{\dot{m}_v}{\rho}$$

$$v_{tr} = \frac{0,0294}{988,1}$$

$$v_{tr} = \underline{\underline{0,0298 \text{ kg/s}}}$$

Počet trubek absorberu (zaokrouhlení dolů na celé číslo):

$$p_{tr} = \frac{L_k}{z + D}$$

$$p_{tr} = \frac{1,629}{0,04 + 0,01}$$

$$p_{tr} = 32,58 = \underline{\underline{32}}$$

Redukovaná teplota:

$$A = \frac{(t_p - t_o)}{Q_{sol}}$$

$$A = \frac{(51,88 - 15)}{800}$$

$$A = \underline{\underline{0,0461 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}}}$$

Účinnost kolektoru:

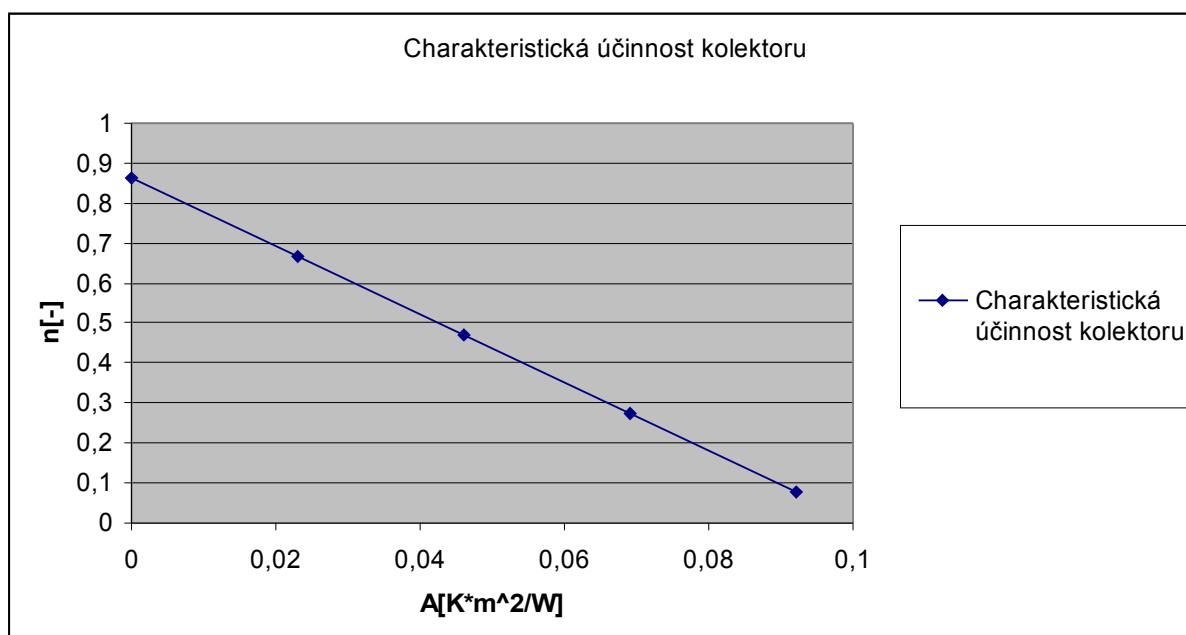
$$\eta = \frac{Q_y}{Q_{sol} \cdot S_k} \cdot 100$$

$$\eta = \frac{1227,821}{800 \cdot 3,258} \cdot 100$$

$$\eta = \underline{\underline{0,4711 = 47,11\%}}$$

Účinnostní charakteristika kolektoru

Pozn. Tato charakteristika je konstantní hodnotu ozáření $Q_{sol}=800 \text{ W/m}^2$



5.5 Stanovení počtu kolektorů

Jelikož se nám v průběhu roku mění intenzita dopadajícího slunečního záření, čímž má přímý vliv na redukovanou teplotu, bude se různit i účinnost, právě vlivem množství dopadajícího slunečního záření.

$$\eta = \frac{Q}{I} = (1 - r) - \frac{(k_1 + k_2) \cdot (t_{str} - t_v)}{I} = \tau \cdot \alpha - \frac{(k_1 + k_2) \cdot (t_{str} - t_v)}{I}$$

Kde: $k_1=k_s, k_2=k_{iz}$...koeficienty přestupu tepla $[W / m^2 \cdot K]$
 t_{str} ...střední teplota vody $[^{\circ}C]$
 t_v ...teplota okolí $[^{\circ}C]$
 I ...intenzita dopadajícího slunečního záření $[kW/m^2]$

Celková energie zachycená 1 m² kolektoru se počítá za určitou dobu, za celý měsíc nebo v našem případě za den dle vztahu

Celková zachycená energie:

(duben)

$$Q_{A_den} = \eta_k \cdot Q_{S_den}$$

$$Q_{A_den} = 0,784317 \cdot 2,7454$$

$$Q_{A_den} = 2,15326 \text{ kWh} / m^2$$

Výpočet plochy kolektorů

$$S_A = \frac{Q_{skut}}{Q_{A_den}}$$

$$S_A = \frac{18,313}{2,15326}$$

$$S_A = 8,5048 \text{ m}^2$$

Přehled velikosti kolektorového pole:

	Q_{A_den}	S_A
	[kWh/m ²]	[m ²]
Leden	0,681173	26,8
Únor	1,162027	15,7
Březen	1,600727	11,4
Duben	2,153264	8,5
Květen	3,091542	5,9
Červen	3,121054	5,8
Červenec	3,706552	4,9
Srpen	3,345778	5,4
Září	2,213594	8,2
Říjen	1,407319	13
Listopad	0,487441	37,5
Prosinec	0,374151	48,9

[tabulka č. 5]

Plocha mnou navrhovaného kolektoru je $S_k=3,258\text{m}^2$. Pro 100% pokrytí přípravy TUV nepožadovanou teplotu je třeba 3 kolektorů. Celkové kolektorové pole bude mít $S_{pole}=9,774\text{m}^2$. Energetické pokrytí bude pouze v některých měsících jak ukáže následující kapitola. Pro měsíce, v kterých je délka slunečního svitu a intenzita záření nedostačující, bude muset být navržen jiný zdroj přípravy TUV.

5.6 Energetická bilance

Pro navrhnutou plochu kolektorového pole nyní sestavíme tepelnou bilanci pomocí které zjistíme, jakou část energie lze získat ze slunečního záření a naopak jaká část energie je potřebná pro ohřev TUV jiným zdrojem.

Energie zachycená kolektory v jednotlivých měsících

Získaná energie dopadajícího slunečního záření, kterou jsou schopny získat dané kolektory o již zmíněné ploše za určitý měsíc.

(duben)

$$Q_{Am} = Q_{A_den} \cdot S_{pole} \cdot n_m$$

$$Q_{Am} = 2,153264 \cdot 9,774 \cdot 30$$

$$Q_{Am} = 631,380 kWh$$

Kde n_m ...počet dní v měsíci

Energie přebytková

Nevýhodou je, že nemůžeme využít všechnu energii v letních měsících pro danou přípravu TUV. Přebytkovou energii je možné využít pro ohřátí bazénové vody, v mém případě se touto variantou nezabývám.

$$Q_{př} = Q_{SPm} - Q_{Am}$$

Poznámka: energie přebytková $Q_{př}$ je pouze kladná hodnota

Energie dodatková

Jelikož to v zimních měsících kdy doba slunečního svitu a intenzita záření klesne pod určitou hranici. Nedostatek energie získané ze solárních kolektorů bude muset být pokryt cizím zdrojem.

$$Q_{dd} = Q_{SPm} - Q_{Am}$$

Poznámka: energie chybějící Q_{dd} je pouze záporná hodnota

Energie užitečná

Celková získaná energie odečtena od energie přebytkové. Přesně tuto hodnotu po sečtení ze všech měsíců jsme schopni celoročně získat ze solárních kolektorů.

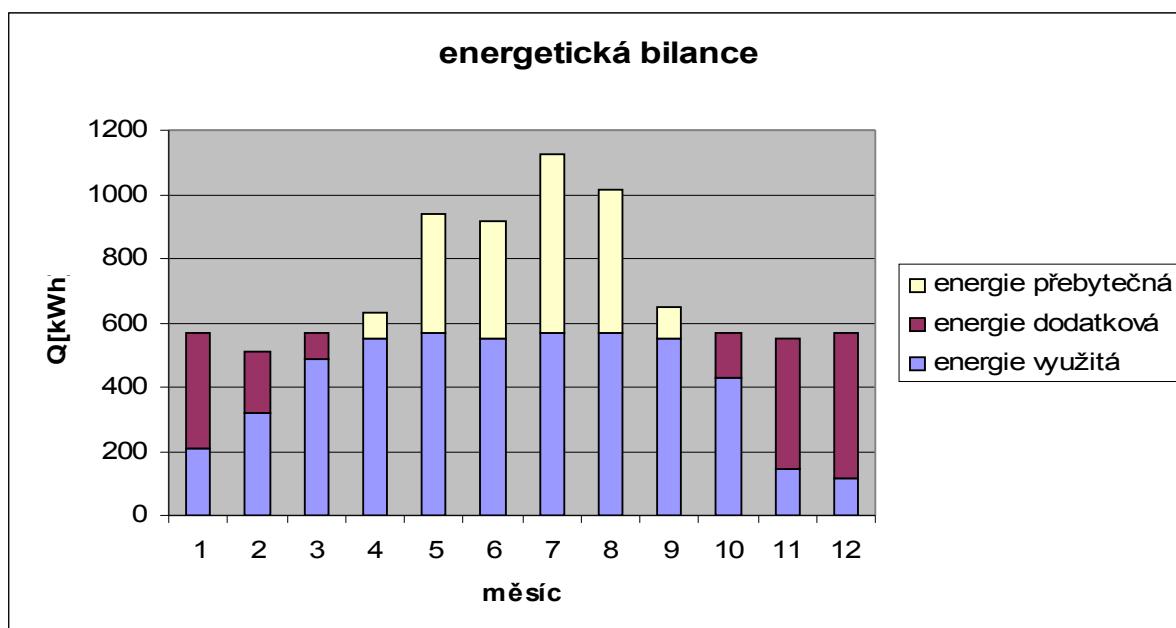
$$Q_{uzk} = Q_{SPm} - Q_{př}$$

	Q_{SPm}	Q_{Am}	Q_{dd}	Q_{pr}	Q_{uzk}
	[kWh/měs]	[kWh/měs]	[kWh/měs]	[kWh/měs]	[kWh/měs]
Leden	567,703	206,3914	361,3116	0	206,3914
Únor	512,764	318,0142	194,7498	0	318,0142
Březen	567,703	485,0106	82,69238	0	485,0106
Duben	549,39	631,38	0	81,99001	549,39
Květen	567,703	936,7186	0	369,0156	567,703
Červen	549,39	915,1554	0	365,7654	549,39
Červenec	567,703	1123,063	0	555,3601	567,703

Srpen	567,703	1013,751	0	446,0478	567,703
Září	549,39	649,0701	0	99,68012	549,39
Říjen	567,703	426,4091	141,2939	0	426,4091
Listopad	549,39	142,9274	406,4626	0	142,9274
Prosinec	567,703	113,3656	454,3374	0	113,3656
Σ/rok	6684,245	6961,256	1640,848	1917,859	5043,397

[tabulka č. 6]

Graf energetické bilance



[graf č.3]

Jak vypovídá graf č. 3, modrá hodnota je energie kterou využijeme ze solárních kolektorů, žlutá hodnota je množství energie převážně v letních měsících kterou pro můj způsob vytápění využít nelze a červená hodnota je energie kterou musíme dodat pro ohřátí TUV na požadovanou teplotu. Jak z tabulky č. vyplývá že roční zisk z kolektorového pole je přibližně 5MWh. Bohužel toto kolektorové pole není schopné celoročně získat potřebnou energii pro přípravu TUV a to v zimních měsících (říjen-březen), je třeba v daných měsících celkově 1,6MWh energie.

6. SOLÁRNÍ OKRUH

- solární kolektor
- solární zásobník + tepelný výměník
- oběhové čerpallo
- teplotonosné médium
- řízení a regulace
- další armatury a pojistná zařízení

6.1 Volba zásobníku a jeho dohřívání

Tepelný zásobník splňuje funkci uchování přebytečné energie pro oblačné dny, chudé na dopadající sluneční záření. Ideální zásobník by byl schopen akumulovat veškerou energii a udržet ji libovolně dlouhou dobu, bohužel tato varianta je zatím nemožná. Při volbě samotného zásobníku je hlavním hlediskem množství tepla které musí být akumulováno. Jeho potřebný objem (velikost) se řídí denní spotřebou vody, přičemž má být podle empirického pravidla počítáno se zásobou 1,5 až 2,5-násobek denní spotřeby, aby bylo umožněno pokrytí spotřební špičky a zároveň překlenutí dnů chudých na sluneční záření.

Výpočet objemu tepelného zásobníku

$$O = m_v \cdot 2,5$$

$$O = 360,44 \cdot 2,5$$

$$O = 901,1 \ell$$

Kde: m_v ...množství spotřeby TUV 4-členné rodiny za jeden den [dm³, ℓ]

Výrobce SOLARPOWER dodává zásobníky o celkovém objemu zařízení 540 l (PSK 550), 750 l (PSK 750), nebo 950 l (PSK 950). Dle vypočítaných hodnot volím zásobník PSK 950. Jeho technické parametry jsou uvedeny v příloze č. 1.

Akumulační nádrž SOLARTANK PSK950



[obr. č.9]

Akumulační nádrž SOLARTANK PSK950

Dohřívání zásobníku

SOLARTANK PSK je stojatá akumulční nádrž s integrovaným zásobníkem na teplou užitkovou vodu o objemu 250 l. Celkový objem zařízení je 950 l (PSK 950). Zásobník užitkové vody je umístěn ve středu akumulční nádrže, kolem spodní části je obklopen trubkovým tepelným výměníkem ve tvaru spirály. Se zařízením se dodává 100 mm silná izolace z tvrdé. Ohřev vody v zásobníku a nádrži je zajištěn solárními kolektory nepřímým přestupem tepla přes trubkový výměník a teplovodní soustavou, ve které může být zařazeno i více zdrojů. Solární zásobník je dále vybaven přírubou 1½" pro instalaci elektrického topného tělesa, které pak slouží k dohřívání vody a obsahuje také přívodní a odvodní ventil pro teplou kotelní vodu.

6.2 Oběhové čerpadlo

U solárních soustav s nuceným oběhem jsou využívány oběhová čerpadla která:

- jsou osvědčena v tepelné technice po desítky let
- zvládají dostatečný objem kapalin
- jsou cenově dostupná
- vykazují tepelnou odolnost až do 110°C
- jsou vhodná pro použití vodních směsí s nemrznoucími přísadami

Tyto čerpadla jsou konstruována na připojení k domovní síti (220V).

Hlavním parametrem oběhového čerpadla je doprava média, která je závislá na mnoha faktorech. Proto se počítají u solárních soustav tlakové ztráty, které vznikají v potrubních rozvodech.

$$\Delta P = \Delta P_{\text{tr}} + \Delta P_m + \Delta P_s$$

$$\Delta P = 2159,134 + 29,445 + 19386,552$$

$$\Delta P = 21575,119 \text{ Pa} = 22 \text{ kPa}$$

Kde:	ΔP ...celkové tlakové ztráty	[Pa]
	ΔP_{tr} ...ztráty třením	[Pa]
	ΔP_m ...místní ztráty	[Pa]
	ΔP_s ...ztráta při spouštění čerpadla	[Pa]

Ztráty vzniklé třením proudícího média

$$\Delta P_{tr} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v_{tr}^2}{2} \cdot \rho_v$$

$$\Delta P_{tr} = 0,149 \cdot \frac{25}{0,0254} \cdot \frac{0,0298}{2} \cdot 988,1$$

$$\Delta P_{tr} = 2159,134 Pa$$

Kde:	λ ...součinitel třecí ztráty	[-]
	L...délka potrubí	[m]
	d...vnitřní průměr potrubí	[m]
	v_{tr} ...rychlost proudění látky v potrubí	[m/s]
	ρ_v ...hustota média	[kg/m ³]

součinitel třecí ztráty

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

$$\lambda = \frac{64}{429,7}$$

$$\lambda = 0,149$$

Kde:	Re...Reynoldsovo číslo	[-]
------	------------------------	-----

Ztráty místní

$$\Delta P_m = \xi \cdot \frac{v_{tr}^2}{2} \cdot \rho_v$$

$$\Delta P_m = (5 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,25) \cdot \frac{0,0298 \cdot 33}{2} \cdot 988,1$$

$$\Delta P_m = 29,445 Pa$$

Poznámka:součinitele místní ztráty vyhledány pro můj daný případ v odborné literatuře.

Kde:	ξ ... součinitel místní ztráty	[-]
	v_{tr} ...rychlost proudění látky v potrubí	[m/s]
	ρ_v ...hustota média	[kg/m ³]

Ztráty při náběhu čerpadla

$$\Delta P_s = h \cdot \rho_v \cdot g$$

$$\Delta P_s = 2 \cdot 988,1 \cdot 9,81$$

$$\Delta P_s = 19386,522 \text{ Pa}$$

Kde: h ...výškový rozdíl mezi čerpadlem a kolektorem [m]

ρ_v ...hustota média [kg/m³]

Pro svůj solární okruh volím oběhové čerpadlo firmy Regulus, typ S1RS25/4_2-12I. Jedná se o jednotrubkovou čerpadlovou skupinu včetně čerpadla, které je schopno pokrýt tlakovou ztrátu systému. Toto čerpadlo je pro malé systémy velice často používáno.

S1RS25/4_2-12I

Vybavení:

- Oběhové čerpadlo Wilo RS 25/4
- Teploměr
- Tlakoměr
- Solární pojistný ventil 6 bar
- Napouštěcí a vypouštěcí ventily
- Uzavírací ventil
- Zpětný ventil Solar
- Regulátor průtoku s průtokoměrem
- Výstup pro připojení expanzní nádoby
- Tepelná izolace
- Připojení 3/4" vnější



[obr. č. 10]

6.3 Regulace provozu solární soustavy

Menší solární soustavy jsou dnes provozovány především technikou High – Flow (High – Flow = velký průtok). U tohoto systému jsou optimální zisky při průtocích 30 až 70 l/hod·m² plochy kolektoru. Kolektory jsou řazeny paralelně, jsou napojeny na jedno horní a jedno dolní sběrné potrubí. Podstatným znakem soustavy s nuceným oběhem je tedy čerpadlo ve spojení s řídicí a ovládací

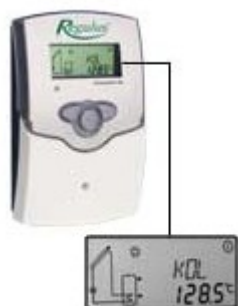
jednotkou. Kvalitní řídicí systémy snímají nejen všechny potřebné teploty, ale také intenzitu slunečního svitu, počítají dobu ve stínu a na slunci, vyhodnocují energetické zisky solárního systému a samy rozhodují, kam bude směřována energie ze solárních kolektorů, upraví výkon klasického zdroje tepla a vyřeší co nejefektivnější provoz celého systému.

Solární regulátor DeltaSol® BS/3

Digitální solární regulátor pro použití v jednoduchých solárních systémech s jedním spotřebičem (zásobník TUV, bazén, kotel, akumulční nádrž ...). Podsvětlený displej monitorující systém, s uloženými systémovými schémata, s piktogramy, 4ciferným alfanumerickým displejem (16 segmentů) a 4ciferným numerickým displejem (7 segmentů) k zobrazení teplot i ke kontrole a nastavení parametrů. Tlačítka pro přesný chod i nastavení parametrů. Nastavitelné varianty jako např. funkce zpětného vychlazování, nastavení zapínací a vypínací difference, bezpečnostní odstavení kolektorů, speciální funkce trubicového kolektoru, měření dodaného tepla, protizámrazová funkce.

Vybavení:

- LCD displej monitorující systém
- 4 vstupy na teplotní čidla Pt1000
- 1x solární teplotní čidlo FKP6, silikonový kabel 1,5 m
- 1x teplotní čidlo FRP6, kabel z PUR 2,5 m
- 2 standardní výstupy relé, manuální provoz, funkce termostatu, počítadlo provozních hodin a množství dodaného tepla



[obr. č. 11]

7. VYHODNOCENÍ NÁVRHU Z EKONOMICKÉHO A ENVIRONMENTÁLNÍHO HLEDISKA

7.1 Ekonomické zhodnocení

Toto zhodnocení nám napoví jaká bude návratnost zakoupeného solárního systému. Jsou zde zohledněny aspekty před provozem solárního systému a po nainstalování solárního systému. Před pořízením solárního systému byly náklady na ohřev požadovaného množství vody plynovým kotlem 10 256,65 Kč, při účinnosti topného systému 85%.

$$N_{SPR} = \frac{\Sigma Q_{SPm}}{\eta_{ts}} \cdot s_{pl}$$

$$N_{SPR} = \frac{6684,245}{0,85} \cdot 1,30428$$

$$N_{SPR} = 10256,62 \text{ Kč}$$

Kde: ΣQ_{SPm} ...roční spotřeba energie pro ohřátí potřebného množství vody pro celou rodinu

[kWh]

s_{pl} ...sazba plynu za kWh [Kč]

η_{ts} ...účinnost topného systému [-]

Náklady na dotápění a provoz kolektorů zahrnují roční spotřebu energie na dotápění a náklady na provoz oběhového čerpadla v době slunečního svitu.

$$N_{NPR} = \frac{\Sigma Q_{DD}}{\eta_{ts}} \cdot s_{pl} + P_i \cdot \tau'_{skut} \cdot s_{el}$$

$$N_{NPR} = \frac{1640,848}{0,85} \cdot 1,30428 + 0,046 \cdot 1191 \cdot 4,65$$

$$N_{NPR} = 2772,56 \text{ Kč}$$

Kde: ΣQ_{SPm} ...roční dodatková energie pro ohřátí zbylého množství vody pro celou rodinu [kWh]

P_i ...příkon oběhového čerpadla [kW]

τ'_{skut} ... doba provozu oběhového čerpadla	[h]
s_{el} ... sazba elektřiny na kWh	[Kč]
η_{ts} ... účinnost topného systému	[-]

Po odečtení vypočtených hodnot získáme finanční úsporu za jeden rok.

$$CF = N_{SPR} - N_{NPR}$$

$$CF = 10256,62 - 2772,56$$

$$CF = 7484,06 \text{ Kč}$$

Investiční náklady pro solární systém

Celý solární systém se skládá z mnoha částí a zařízení, základní části již byly jmenovány v předešlých kapitolách, do ekonomického hodnocení však budu počítat s veškerými součástkami. Mezi ně patří: solární kolektory, hák do střešní krytiny, sadu pro uchycení a propojení, připojovací díly, odvzdušňovací ventil, kulový kohout, regulátor, teplotní čidla, čerpadlová skupina, teploměr, expanzní nádoba, solární zásobník, směšovací ventil. Přehled těchto investičních nákladů je vyobrazen v [tabulce č. 7].

Tabulka investičních nákladů:

Název	Množství	Typ	Cena(bez DPH)
Sluneční kolektory	3 ks	FK7000N*	46200,-
Hák do střešní krytiny	12 ks	H-POZINK	3120,-
Sada pro uchycení a propojení	3 ks	S-UPC1	3240,-
Sada přípojovacích dílů	3 ks	S-PDCT	2040,-
Odvzdušňovací ventil	1 ks	OVSA1-3/8"	497,-
Kulový kohout – Solární	1 ks	KK MF3/8"	260,-
Solární regulátor	1 ks	DeltaSol BS/3	4860,-
Teplotní čidlo – Kolektor	1 ks	TSK10D1	327,-
Teplotní čidlo – Zásobník	1 ks	TSK10D0	189,-
Čerpadlová skupina	1 ks	S1RS25/4	5990,-
Příložný teploměr	1 ks	1B2.0-120°C	178,-
Expanzní nádoba	1 ks	R8 12 l	889,-
Tepelný zásobník	1 ks	PSK950	68500,-
Nerezové trubky	-	DN20(25m)	6961,-
Směšovací ventil	1 ks	MT52	1390,-
CELKEM SESTAVA(bez DPH)			144641,-
CELKEM SESTAVA(s19% DPH)			172122,8,-

[tabulka č. 7]

*Jelikož to můj navrhovaný solární kolektor není v běžné nabídce na trhu, vybírám kolektor s hodnotami které se blíží mnou navrhovanému kolektoru, jak plochou tak i vlastnostmi. Proto je cena orientační a může způsobit určité nesrovnalosti.

Poznámka: Do nákladů jsem nezapočítal montážní náklady firmy, která by prováděla instalaci celého systému.

Celkové ekonomické zhodnocení nezávisí tedy jen na energetických úsporách, ale především i na celkových investičních nákladech. S pomocí těchto nákladů kde je již započítaná státní dotace určíme dobu návratnosti, která se vypočítá podle vztahu:

$$T_s = \frac{I_N}{CF}$$

$$T_s = \frac{172122,8}{7484,06}$$

$$T_s \doteq 23 \text{ let}$$

Ve výpočtu nejsou zahrnuty náklady na údržbu zařízení, neuvažují také se zvýšením cen za energii. Při určování doby návratnosti nepočítám pro projekt dotaci ze Státního fondu životního prostředí. Pro zařízení je brána daň

z přidané hodnoty 19%. Výpočet prosté návratnosti nám dává pouze orientační představu o ekonomické efektivnosti.

7.2 Enviromentální hodnocení

Pro určení škody z emisí, kterým se vyhneme používáním solárních kolektorů místo ohřevu TUV spalováním zemního plynu je třeba znát emisní faktory pro jednotlivé znečišťující látky. Tyto hodnoty jsem vystudoval z odborné literatury pro spalovací kotel s účinností topného systému 85%. Zde porovnávám množství energie potřebné za rok ($Q_{SPm} = 6684,245 \text{ kWh/rok}$) a energii potřebnou pro přípravu TUV v obdobích kdy solární systém není schopen pokrýt danou energii, energii dodatkovou ($Q_{dd} = 1640,848 \text{ kWh/rok}$), avšak jsou zde i započteny emise vnikající provozem oběhového čerpadla. Vycházím z toho že dodatková energie bude do systému přiváděná spalováním zemního plynu. Přehled emisí před instalací a po instalaci v tabulce č. 8. Výpočet se provedl tak že celková potřeba energie v palivu před instalací a po instalaci vynásobí množstvím emisí, které jsou pro příslušný kotel uvedeny a provoz oběhového čerpadla.

	Emisní faktor	Emise před instalací kolektorů	Emise po instalací kolektorů	Úspora emisí
Emise	[g/kWh]	[g/rok]	[g/rok]	[g/rok]
CO ₂	219	1463849,66	375907,4	1087942,26
CO	0,16	1069,4792	274,6355	794,8437
TZL	0,004	26,73698	6,865888	19,871092
NO _x	0,18	1203,1641	308,965	894,1991
SO ₂	0,007	46,789715	12,0153	34,774415
CH ₄	1,1	7352,6695	1888,119	5464,5505
NM VOC	0,04	267,3698	68,65888	198,71092
N ₂ O	0,004	26,73698	6,865888	19,871092

[tabulka č. 8]

Rozdíl mezi emisemi vzniklými před instalací solárního systému a po instalaci je zřetelný. "Úspora" emisí vychází 74,32%.

8. ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ

Mnou navržený kolektor bude mít aktivní plochu 3,25m². Danou solární soustavu tvoří 3 kolektory, schopné pokrýt přípravu TUV v měsících duben až září. Ve zbylých měsících bude nutný dohřev, který bude proveden bojlerem napájený přes plynový kotel. Schéma tohoto zapojení je uvedeno ve výkresu DPTK 02. Z environmentálního hlediska je snížena tvorba emisí po instalaci kolektorů o 3/4 oproti původním hodnotám. Toto je sice dobrý výsledek, ale rozhodně to není zcela rozhodující faktor při celkovém hodnocení. Tím je ekonomické hledisko, které bohužel při dnešní technice a našich geografických podmínkách nedosahuje patřičných mezí. Z těchto důvodů je návratnost vypočtena na necelých 23 let. A při životnosti která se pohybuje u solárních kolektorů 15 let je tento projekt bohužel ekonomicky nevýhodný.

Seznam použité literatury

KAMINSKÝ J. , VRTEK M. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1998 . 102 s. ISBN 80-7078-445-8.

CIHELKA J. *Solární tepelná technika*. První vydání, Praha, Nakladatelství Malina, 1994. 208 s. ISBN 80-900759-5-9.

HUMM O. *Nízkoenergetické domy*. Praha: Grada, 1999, 353s. ISBN 80-7169-657-9.

TURNER W. C. *Energy Management Handbook*, 3. vyd. Lilburn: The Fairmont Press, Inc., 1997. 40 s. ISBN: 0-13-728098-X.

SMOLÍK J. *Technika prostředí*, Praha: SNTL.ALFA, 1985

MORAN M. J. , SHAPIRO H. N. *Fundamentals of Engeneering Thermodynamics*. 2. vyd. New York: John Wiew&Sonsm, Inc., 1992. IBSN 0471076813

LADANER H. , SPÄTE F. *Solární zařízení*. Praha: Grada, 2003, 267s. ISBN 80-247-0362-9

<http://www.solarpower.cz>

<http://www.solarnet.cz>

<http://www.solarenergy.ch>

<http://www.regulus.cz>

Seznam příloh

Příloha č. 1.: Seznam parametrů solárního zásobníku **PSK950**

Příloha č. 2.: Tabulka teoretické dopadající energie za den, teoretické doby slunečního svitu a skutečné doby slunečního svitu

Příloha č. 3.: Tabulka emisí vznikajících při přípravě a spalování různých nosičů energie

Příloha č.4.: Bilance celkového zisku kolektoru

Příloha č. 5.: Výkresy