

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Solární systém pro ohřev TUV

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Martin JEDLIČKA**
Osobní číslo: **E14N0143P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Solární systém pro ohřev TUV**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :


1. Vysvětlete základní podmínky a technické aspekty využití solárního záření.
2. Popište klasické solární tepelné systémy pro ohřev TUV.
3. Objasněte možnosti použití fotovoltaických systémů pro ohřev TUV.
4. Navrhněte různé varianty solárního systému pro ohřev TUV pro modelový objekt a zhodnoťte je z hlediska energetického, ekonomického a environmentálního.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:


1. přednášky z předmětu KEE/SOES

Vedoucí diplomové práce: Ing. Milan Bělík, Ph.D.
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: 15. října 2015
Termín odevzdání diplomové práce: 16. května 2016


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na solární systém pro ohřev TUV. Text je rozdělen do šesti částí. První se zabývá všeobecnými vlastnostmi solárního záření. Je v ní popsána solární energie, její použití, dostupnost a její výhody a nevýhody. V druhé části jsou popsány solární tepelné systémy pro ohřev TUV a vysvětleny principy solárních systémů pro vytápění a pro ohřev bazénové vody a solárních systémů pro ohřev užitkové vody. Třetí část se zaměřuje na možnosti použití fotovoltaických systémů pro ohřev TUV. Je zde popsán princip, technické parametry a výhody a nevýhody tohoto systému. Ve čtvrté, páté a šesté části je postupně proveden návrh solárního systému s plochými a trubicovými kolektory a návrh fotovoltaického systému. V těchto částech je také pro každý systém provedeno zhodnocení z energetického, ekonomického a environmentálního hlediska.

Klíčová slova

Solární energie, využití solární energie, termický systém, fotovoltaický systém, solární kolektor, použitelnost solárních systémů, plochý kolektor, trubicový kolektor, fotovoltaický panel, solární ohřívač.

Abstract

The presented thesis is focused on solar system for usage water heating. The text is divided into six parts. The first part addresses general characteristics of solar radiation. It describes solar energy and its use and availability, its advantages and disadvantages. The second part describes the solar thermal systems for usage water heating and there are explained principles of solar heating systems, solar systems for heating swimming pool water and solar systems for hot water. The third part is focused on the possibility of using photovoltaic system for usage water heating. Here, it is described the principle, technical characteristics and advantages and disadvantages of the system. In the fourth, fifth and sixth part is successively completed a draft of the solar system with flat-plate collectors, solar system with tube collectors and photovoltaic system. These parts also include an energetic, economic and environmental evaluation for each system.

Keywords

Solar energy, solar energy utilization, thermic system, photovoltaic systems, solar collector, solar systems application, flat-plate collector, tube collector, photovoltaic panel, solar water heater.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 6.5.2016

Martin Jedlička

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Milanu Bělíkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	10
1 ZÁKLADNÍ PODMÍNKY A TECHNICKÉ ASPEKTY VYUŽITÍ SOLÁRNÍHO ZÁŘENÍ	11
1.1 DOSTUPNOST SOLÁRNÍ ENERGIE	11
1.2 DRUHY SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ.....	14
1.2.1 <i>Součinitel znečištění atmosféry</i>	15
1.2.2 <i>Přímé sluneční záření</i>	16
1.2.3 <i>Difúzní sluneční záření</i>	17
1.2.4 <i>Globální sluneční záření</i>	17
1.3 URČENÍ POLOHY SLUNCE NAD OBZOREM	18
1.4 URČENÍ MNOŽSTVÍ ENERGIE DOPADAJÍCÍHO NA OSLUNĚNOU PLOCHU	19
1.5 VYUŽITÍ SOLÁRNÍ ENERGIE	20
1.6 VÝHODY SOLÁRNÍ ENERGIE	22
1.7 NEVÝHODY SOLÁRNÍ ENERGIE.....	22
2 KLASICKÉ SOLÁRNÍ TEPELNÉ SYSTÉMY PRO OHŘEV TUV	23
2.1 ROZDĚLENÍ SOLÁRNÍCH TEPELNÝCH SYSTÉMŮ	23
2.2 SYSTÉMY PRO SOLÁRNÍ VYTÁPĚNÍ.....	25
2.2.1 <i>Teplovzdušné solární panely</i>	25
2.2.2 <i>Pasivní solární systémy pro vytápění</i>	27
2.3 SYSTÉMY PRO OHŘEV BAZÉNOVÉ VODY	29
2.4 SYSTÉMY PRO OHŘEV UŽITKOVÉ VODY.....	32
2.4.1 <i>Části systému pro ohřev užitkové vody</i>	33
3 MOŽNOSTI POUŽITÍ FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU PRO OHŘEV TUV	44
3.1 PRINCIP FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU PRO OHŘEV UŽITKOVÉ VODY.....	44
3.2 ZPŮSOBY PROVOZU FOTOVOLTAICKÉHO OHŘEVU UŽITKOVÉ VODY	45
3.2.1 <i>Fotovoltaický ohřev užitkové vody se sledovačem maximálního výkonu</i>	45
3.2.2 <i>Fotovoltaický ohřev užitkové vody bez sledovače maximálního výkonu</i>	46
3.3 TECHNICKÉ PARAMETRY	46
3.4 VÝHODY FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU PRO OHŘEV UŽITKOVÉ VODY	48
3.5 NEVÝHODY FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU PRO OHŘEV UŽITKOVÉ VODY.....	50
4 NÁVRH SYSTÉMU PRO PŘÍPRAVU TUV S PLOCHÝMI SOLÁRNÍMI KOLEKTORY	51
4.1 POPIS MODELOVÉHO OBJEKTU	51
4.2 VÝPOČET SPOTŘEBY TEPLA PRO OHŘEV VODY.....	52
4.3 VÝPOČET POTŘEBNÉ PLOCHY KOLEKTORŮ	53
4.3.1 <i>Výpočet účinnosti kolektoru</i>	54
4.3.2 <i>Výpočet potřebné plochy a počtu kolektorů</i>	55
4.4 ENERGETICKÁ BILANCE PRO SYSTÉM S KOLEKTOROVOU PLOCHOU 16,2 M ²	56
4.5 ENERGETICKÁ BILANCE PRO SYSTÉM S KOLEKTOROVOU PLOCHOU 6,7 M ²	60
4.6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	64
4.6.1 <i>Investiční náklady</i>	64
4.6.2 <i>Návratnost systému</i>	65
4.7 ENVIRONMENTÁLNÍ ZHODNOCENÍ	67

5	NÁVRH SYSTÉMU PRO PŘÍPRAVU TUV S TRUBICOVÝMI SOLÁRNÍMI KOLEKTORY	68
5.1	VÝPOČET SPOTŘEBY TEPLA PRO OHŘEV VODY	68
5.2	VÝPOČET ÚČINNOSTI KOLEKTORU	68
5.3	VÝPOČET POTŘEBNÉ PLOCHY A POČTU KOLEKTORŮ	69
5.4	ENERGETICKÁ BILANCE PRO SYSTÉM S KOLEKTOROVOU PLOCHOU 4,7 m ²	70
5.5	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	74
5.5.1	<i>Investiční náklady</i>	74
5.5.2	<i>Návratnost systému</i>	75
5.6	ENVIRONMENTÁLNÍ ZHODNOCENÍ	77
6	NÁVRH SYSTÉMU PRO PŘÍPRAVU TUV S FOTOVOLTAICKÝMI PANELE	78
6.1	VÝPOČET SPOTŘEBY TEPLA PRO OHŘEV VODY	78
6.2	VÝPOČET ÚČINNOSTI FOTOVOLTAICKÝCH PANELEŮ	78
6.3	VÝPOČET POTŘEBNÉ PLOCHY A POČTU PANELEŮ	80
6.4	ENERGETICKÁ BILANCE PRO FOTOVOLTAICKÝ SYSTÉM	82
6.5	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	85
6.5.1	<i>Investiční náklady</i>	85
6.5.2	<i>Návratnost systému</i>	87
6.6	ENVIRONMENTÁLNÍ ZHODNOCENÍ	88
	ZÁVĚR	89
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	1
	PŘÍLOHY	2

Úvod

V současné době stále dochází k růstu cen energií a v budoucnu tomu zajisté nebude jinak. Z tohoto důvodu se nabízí otázka, zda existuje nějaký způsob, jak se tomuto zdražování a vysokým finančním nákladům za spotřebovanou energii vyhnout.

Jednou z možností je využití obnovitelných zdrojů energie a jejich transformace na dále využitelnou energii. Stejně jako existuje několik druhů obnovitelných zdrojů energie, existuje i několik způsobů, jak z nich energii získat. Jedním je transformace solární energie na energii tepelnou nebo elektrickou, kterou lze dále využít například pro ohřev užitkové vody, což je právě předmětem této diplomové práce.

Cílem předkládané práce je tedy navrhnout několik možných způsobů využití solární energie pro ohřev užitkové vody v domácnosti. Popsat jejich vlastnosti, možnosti využití a technické parametry, zvolit optimální solární systém, který investorovi ušetří náklady na přípravu teplé vody během roku. Také je zde provedeno srovnání těchto navržených systémů z hlediska provozního, ekonomického i environmentálního.

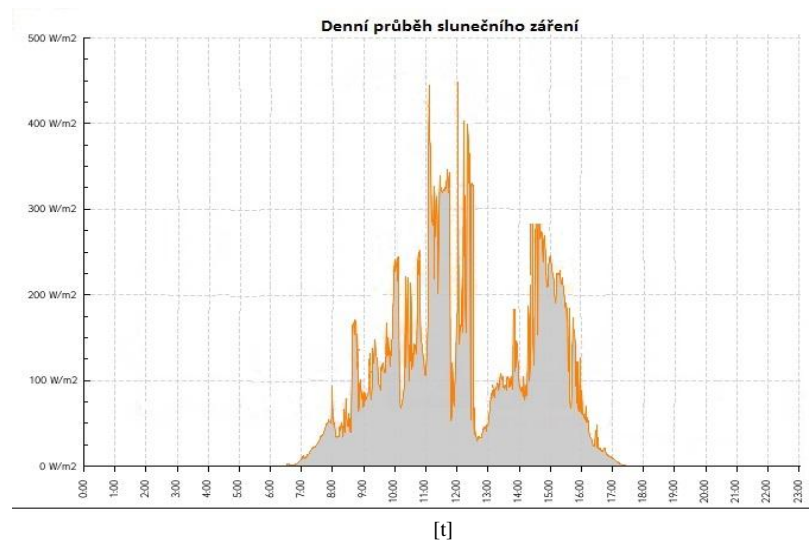
Dále by tato diplomová práce měla vyvolat chvilkové zamyšlení o možném širším využívání solární energie, jelikož tento způsob je velice šetrný k životnímu prostředí, na kterém by mělo každému záležet. Důvodem zajímat se o obnovitelné zdroje energie je i fakt, že na naší planetě dochází fosilní zdroje energie a roste celková celosvětová spotřeba energie. Je tedy nutné hledat technologie, které tyto energetické požadavky dokáží doplnit a zároveň jsou šetrné k životnímu prostředí. Jednou takovou technologií jsou právě solární systémy.

1 Základní podmínky a technické aspekty využití solárního záření

1.1 Dostupnost solární energie

Dostupnost solární energie na Zemi a ve vesmíru je zcela odlišná. Její využívání ve vesmíru, například při výrobě elektrické energie na vesmírných stanicích či družicích, není ovlivněno žádnými problémy týkajícími se její dostupnosti nebo spolehlivosti, pomine-li se fakt, že dané zařízení se zrovna nachází ve stínu Země. S dostupností solární energie na Zemi už to tak lehké není. Na Zemi je také dostupná všude, ale existují zde značné rozdíly v jednotlivých lokalitách, kde získávání solární energie ovlivňují určité faktory.

Jedním z faktorů ovlivňujících dostupnost solární energie jsou lokální klimatické podmínky. Při průchodu záření zemskou atmosférou je část záření pohlcena a část je odražena zpět. Pohlcené sluneční záření pokračuje dále směrem k Zemi, přičemž ale jeho postup může být ovlivněn například oblačností. Ta totiž způsobuje rozptýlení dopadajícího záření. Za jasné oblohy dopadá na povrch Země přibližně 75 % záření, což činí zhruba 1 kW/m^2 , naopak při oblačném počasí dopadá na povrch Země ani ne 15 % z celkového záření, což je méně než 200 W/m^2 . Množství energie, které lze získat ze slunečního záření, mohou také ovlivňovat některé lokální vlivy, jako jsou například přízemní mlhy. Dále pak také různé znečištění atmosféry, například ze spalovacích procesů. Na Obrázku 1.1-1 lze vidět reálný denní průběh slunečního záření. V určitých místech, zejména kolem 13:00, zde došlo k velkému poklesu slunečního záření z důvodu oblačnosti.



Obrázek 1.1-1 Denní průběh slunečního záření[3]

Další z faktorů ovlivňujících největší možný energetický zisk ze solárních zařízení je roční období. V zimních měsících je totiž den mnohem kratší než v měsících letních a slunce je na obloze nízko, navíc spolu s častějším výskytem oblačnosti je velkou mírou omezen energetický zisk solárních zařízení. V reálných podmínkách za slunečného počasí dopadnou na 1 m² plochy orientované na jih 3 kWh. Ovšem při oblačném počasí dopadnou na stejně velkou plochu pak méně než 0,3 kWh. Naopak v letních měsících, kdy je den mnohem delší než v měsících zimních a slunce na obloze setrvá delší dobu s převládající jasnou oblohou, jsou podmínky pro energetický zisk solárních zařízení mnohem lepší. Za slunečného počasí v oblastech rovníku dopadne na 1 m² plochy orientované na jih 7 až 8 kWh a při oblačném počasí dopadnou na stejně velkou plochu jen 2 kWh. Z těchto hodnot je tedy vidět značný rozdíl mezi zimním a letním obdobím a lze také pozorovat vliv výšky slunce nad obzorem na intenzitu slunečního záření. V České republice jsou hodnoty slunečního záření dopadajícího na vodorovnou plochu ještě menší, což je dáno její polohou dále od rovníku. Toto tvrzení potvrzuje následující Tabulka 1.1-1, ve které jsou pro srovnání uvedeny hodnoty záření na vodorovnou plochu v Praze a Seville.

Sluneční záření dopadající na vodorovnou plochu [kWh/m².den]		
Měsíc	Praha	Sevilla
Leden	0,77	2,47
Únor	1,42	3,1
Březen	2,42	4,61
Duben	3,74	5,29
Květen	4,83	6,78
Červen	4,89	7,3
Červenec	5,06	7,11
Srpen	4,28	6,45
Září	2,86	5,13
Říjen	1,89	3,87
Listopad	0,81	2,51
Prosinec	0,55	2,09
Roční průměr	2,8	4,73

Tabulka 1.1-1 Sluneční záření dopadající na vodorovnou plochu [1]

Zeměpisná šířka je tedy faktorem ovlivňujícím dostupnost solární energie. Největší množství slunečního záření totiž dopadá na Zemi v oblastech rovníku, naopak nejméně slunečního záření dopadá na Zemi v oblastech pólů. Nezanedbatelným faktorem je i sklon

a orientace plochy, na kterou dopadá sluneční záření. Z praktických poznatků je známo, že z plochy kolmé k dopadajícím paprskům získáme ze slunečního záření největší výkon. Z tohoto důvodu je vhodné natáčet zařízení za Sluncem tak, aby paprsky slunečního záření dopadaly stále kolmo na plochu. Bohužel tento způsob se dá nazvat téměř ideálním, protože se ve skutečnosti provádí jen zcela výjimečně z důvodu příliš velkých finančních nákladů. Navíc celá konstrukce na natáčení zabírá mnoho prostoru. Tato problematika se dá vyřešit tak, že se solární kolektory nebo fotovoltaické panely instalují se sklonem 35° směrem na jih, což zaručí dobrý celoroční zisk. Ovšem pokud je stále snaha tento zisk ještě zvýšit, nastaví se sklon kolektorů v zimním období na 60° a v letním období se naopak sklon kolektorů sníží na 30°. Pro úplnost je v Tabulce 1.1-2 uvedeno množství dopadajícího slunečního záření na nakloněnou plochu o určitém úhlu v daném měsíci v Praze.

Suma záření na nakloněnou plochu [kWh/m ² /měsíc]							
Úhel sklonu plochy ve stupních od vodorovné roviny							
Měsíc	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
Leden	23	27	32	34	35	36	36
Únor	40	47	53,5	58	60	60	57
Březen	82	93	101	104	103	99	90
Duben	110,5	121	127,5	129	120,3	108	91,5
Květen	153	165	172	170	150	124	94
Červen	168	177	181	176,5	158	126	92,5
Červenec	162	174	182	180	158	130	98
Srpen	132	145	153	154	144	127	106
Září	92	106	116	120	118	113	102
Říjen	45,3	57	65	70,5	74	74	70
Listopad	22	26,5	30,5	33	34	35	34,5
Prosinec	15,8	18,9	21	22	23	22,6	22,3

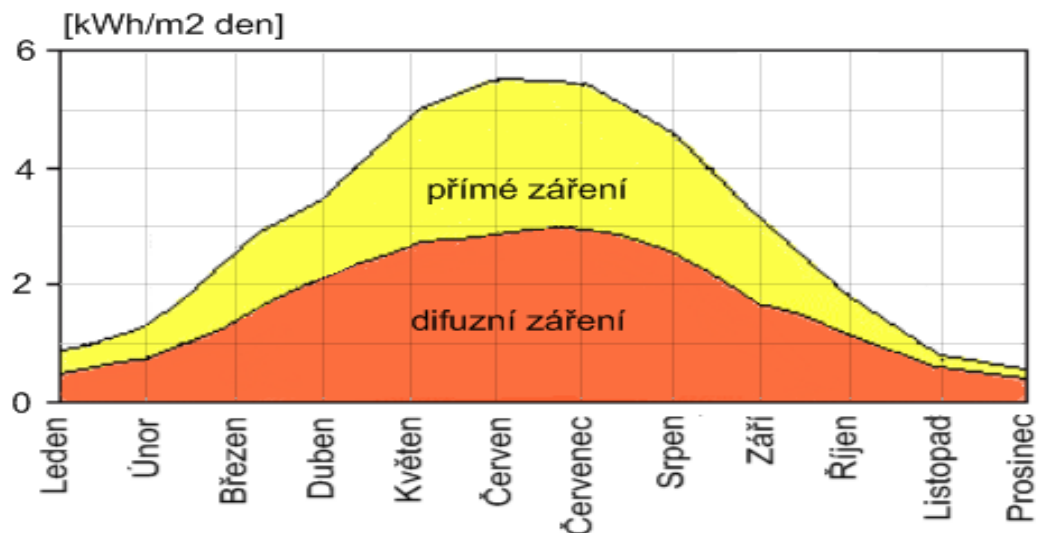
Tabulka 1.1-2 Sluneční záření dopadající na nakloněnou plochu v Praze[3]

Při pomnutí sklonu kolektorů je množství energie získané v zimní polovině roku podstatně menší než v polovině letní. Nelze tak sice zjistit, kolik Slunce poskytne energie například 17. září příštího roku, ale lze dobře odhadnout, kolik energie bude za celé září. Jelikož spotřeba energie v průměrném rodinném domku je zhruba poloviční oproti tomu, kolik dopadá na dům využitelné energie, je solární energie nejdostupnějším a nejrozšířenějším obnovitelným zdrojem energie. Toto tvrzení lze dokázat právě na průměrném rodinném domku stojícím v Praze, který má půdorysnou plochu 8×12 m, tedy 96 m², a má sedlovou střechu orientovanou na jih pod úhlem 45°. Na střeše je k dispozici přibližně 72 m² plochy

pro solární kolektory. Za rok na tuto plochu dopadne $72 \text{ m}^2 \times 1250 \text{ kWh/m}^2$ (roční průměr záření pod úhlem 45°), což je 90 000 kWh solární energie. V tomto průměrném rodinném domku se spotřebuje přibližně 5 000 kWh na ohřev teplé vody, stejně tolik ve formě elektřiny na napájení domácích spotřebičů a 20 000 kWh se spotřebuje na vytápění. Z toho vyplývá, že na chod tohoto rodinného domku se využije zhruba jen polovina přijaté energie, čímž je potvrzen výrok o pár řádek výše. [1]

1.2 Druhy slunečního záření

Za jasné oblohy dopadá největší část slunečního záření na Zemi, aniž by změnilo směr či bylo pohlceno. Toto záření se nazývá přímé. Za oblačného počasí dojde k rozptylu přímého záření v mracích a na částech v atmosféře a tím vznikne záření difúzní, které na Zemi dopadá ze všech směrů. Rozdíl mezi přímým a difúzním zářením lze vidět na Obrázku 1.2-1. Součet intenzity přímého a difúzního slunečního záření se nazývá globální sluneční záření. Jak již bylo řečeno, sluneční záření při průchodu atmosférou ztrácí svoji intenzitu vlivem pohlcování nebo odrazu od určitých složek atmosféry. Tento pokles intenzity slunečního záření popisuje součinitel znečištění atmosféry.



Obrázek 1.2-1 Rozdíl mezi přímým a difúzním slunečním zářením[6]

1.2.1 Součinitel znečištění atmosféry

Tento součinitel udává, kolikrát by musela být čistá atmosféra hmotnější, aby měla stejnou propustnost pro sluneční radiaci, jako má atmosféra znečištěná. Je ovlivněn atmosférickým tlakem vzduchu (nadmořskou výškou) a obsahem příměsí ve vzduchu. Je definován vztahem 1.1:

$$Z = \frac{\ln I_0 - \ln I_n}{\ln I_0 - \ln I_{\varepsilon}} \quad [-] \quad (1.1)$$

kde:

I_0 – solární konstanta [1360 W/m²]

I_n – intenzita záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při daném znečištění [W/m²]

I_{ε} – intenzita záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při čistém ovzduší [W/m²]

V prostředí s vysokou koncentrací exhalací, například ve městech nebo průmyslových oblastech, je součinitel znečištění atmosféry větší než ve venkovském prostředí či horských oblastech. Součinitel Z se totiž s přibývajícím nadmořskou výškou snižuje, což lze vidět v Tabulce 1.2-1.

Měsíc	Průměrné součinitele Z pro oblasti s rozdílnou čistotou ovzduší ve střední Evropě.			
	Průmyslové oblasti	Města	Venkov	Horské oblasti
Leden	4,1	3,1	2,1	1,5
Únor	4,3	3,2	2,2	1,6
Březen	4,7	3,5	2,5	1,8
Duben	5,3	4	2,9	1,9
Květen	5,5	4,2	3,2	2
Červen	5,7	4,3	3,4	2,3
Červenec	5,8	4,4	3,5	2,3
Srpen	5,7	4,3	3,3	2,3
Září	5,3	4	2,9	2,1
Říjen	4,9	3,6	2,6	1,8
Listopad	4,5	3,3	2,3	1,6
Prosinec	4,2	3,1	2,2	1,5
Roční průměr:	5	3,75	2,75	1,9

Tabulka 1.2-1 Průměrné měsíční hodnoty součinitele znečištění atmosféry [5]

1.2.2 Přímé sluneční záření

Vztah pro intenzitu přímého záření na plochu kolmou ke směru paprsků je dán vztahem 1.2:

$$I_{pn} = I_0 \exp\left(-\frac{Z}{\varepsilon}\right) \quad [W/m^2] \quad (1.2)$$

kde:

I_0 – solární konstanta [1360 W/m^2]

Z – součinitel znečištění atmosféry [-]

$$\varepsilon = \frac{9,38076 \cdot [\sin h + (0,03 + \sin^2 h)^{0,5}]}{2,0015 \cdot (1 - H \cdot 10^{-4})} + 0,91018 \quad [-] \quad (1.3)$$

kde:

H – nadmořská výška v daném místě [m]

h – výška slunce nad horizontem [m]

Vztah pro intenzitu přímého slunečního záření na obecnou plochu je definován vztahem 1.4:

$$I_p = I_{pn} \cdot \cos \gamma \quad [W/m^2] \quad (1.4)$$

$$\cos \gamma = \sin h \cdot \cos \alpha + \cos h \cdot \sin \alpha \cdot \cos(a - a_s) \quad (1.5)$$

kde:

I_{pn} – intenzitu přímého záření na plochu kolmou ke směru paprsků [W/m^2]

α – úhel sklonu osluněné plochy od vodorovné roviny [°]

a_s – azimut slunce [°]

a – azimut osluněné plochy [°]

1.2.3 Difúzní sluneční záření

Vztah 1.6 pro intenzitu difúzního slunečního záření je vyjádřen:

$$I_D = 0,5 \cdot (1 + \cos \alpha) \cdot I_{Dh} + 0,5r \cdot (1 - \cos \alpha) \cdot (I_{Ph} \cdot I_{Dh}) \quad [W/m^2] \quad (1.6)$$

kde:

α – úhel sklonu osluněné plochy od vodorovné roviny [°]

r – reflexivní schopnost okolních ploch pro sluneční paprsky (albedo, nejčastěji 0,20)

I_{Dh} – intenzita difúzního záření na vodorovnou plochu [W/m^2]

I_{Ph} – intenzita přímého slunečního záření na vodorovnou plochu [W/m^2]

Vztah 1.7 a 1.8 pro intenzity I_{Dh} a I_{Ph} je určen:

$$I_{Dh} = 0,33 \cdot (I_0 - I_{Pn}) \cdot \sin h \quad [W/m^2] \quad (1.7)$$

$$I_{Ph} = I_{Pn} \cdot \sin h \quad [W/m^2] \quad (1.8)$$

1.2.4 Globální sluneční záření

Globální sluneční záření je dáno algebraickým součtem intenzity přímého slunečního záření a intenzity difúzního slunečního záření a vyjadřuje celkové množství dopadající energie na vodorovnou plochu.

$$I = I_p + I_D \quad [W/m^2] \quad (1.9)$$

1.3 Určení polohy slunce nad obzorem

Směr, ve kterém dopadají sluneční paprsky, je určen vzájemnou polohou osluněné plochy a slunce nad obzorem. Osluněná plocha má zpravidla stálou polohu, která je určena úhlem sklonu od vodorovné roviny a orientací plochy ke světovým stranám. Ovšem poloha slunce nad obzorem se mění v závislosti s časem, proto je poloha slunce v každém okamžiku určena jeho výškou nad obzorem h a jeho azimutem a , kde platí vztahy 1.10 a 1.11:

$$\sin h = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \tau \quad (1.10)$$

$$\sin a = \frac{\cos \delta}{\cos h} \sin \tau \quad (1.11)$$

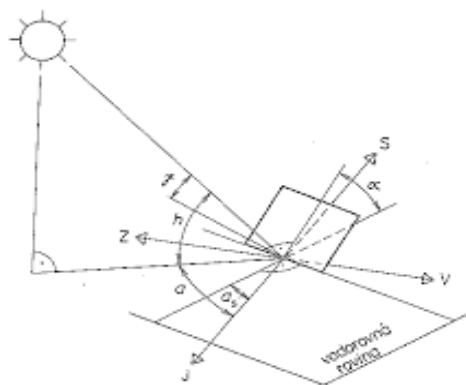
kde:

τ – časový úhel (v obloukových stupních) měřený od 12 hodin v poledne

φ – zeměpisná šířka

δ – sluneční deklinace (zeměpisná šířka), kde v daný den je ve 12 hodin slunce kolmo nad obzorem

Sluneční deklinace α se mění během roku a každý den má proto jinou hodnotu. Při běžných výpočtech obvykle stačí použít jen jednu hodnotu sluneční deklinace pro celý měsíc. Tato deklinace se počítá pro tzv. charakteristický den v měsíci, kde se volí 21. den v měsíci, pro který se pak vypočítají všechny parametry. Vypočtená intenzita slunečního záření v charakteristickém dni v měsíci se pak považuje za průměrnou hodnotu pro celý měsíc. Na Obrázku 1.3-1 lze vidět parametry určující polohu slunce nad obzorem.



Obrázek 1.3-1 Určení polohy slunce [8]

1.4 Určení množství energie dopadajícího na osluněnou plochu

Teoreticky možné množství energie, které dopadá na osluněnou plochu, se značí $Q_{Sdenteor}$ [Wh·m⁻²]. Určí se pomocí plochy pod křivkou $I = f(\tau)$, která vyjadřuje denní průběh intenzity celkového záření. Plocha pod křivkou je úměrná energii, která dopadne na osluněnou plochu za den při jasné obloze. Vztah 1.12 pro dopadající energii je vyjádřen:

$$Q_{Sdenteor} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} I d\tau \quad [Wh/m^2] \quad (1.12)$$

kde:

τ – hodnoty τ_1 a τ_2 vyjadřují čas východu a západu slunce

Vztah 1.13 pro hodnoty τ_1 a τ_2 je určen:

$$\cos \tau_{1,2} = -\operatorname{tg} \delta \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (1.13)$$

kde:

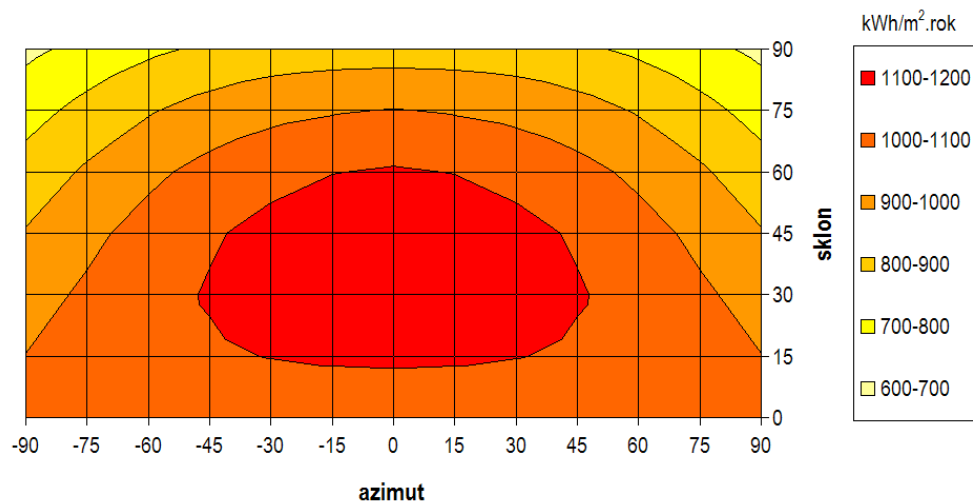
φ – zeměpisná šířka

δ – sluneční deklinace

Dále lze odvodit střední intenzitu slunečního záření během dne pomocí hodnoty τ_{teor} , pro kterou platí vztah 1.14:

$$I_{stř} = \frac{1}{\tau_{teor}} \cdot \int_{\tau_1}^{\tau_2} I d\tau = \frac{Q_{Sdenteor}}{\tau_{teor}} \quad [Wh/m^2] \quad (1.14)$$

Maximálního využití energie slunečního záření se dá docílit orientací solárního zařízení směrem na jih, protože v těchto podmínkách dosahuje $Q_{Sdenteor}$ největších hodnot. Ovšem v praxi může být splnění této podmínky složité či nemožné. $Q_{Sdenteor}$ bude dosahovat menších hodnot, zde se ale nedoporučuje, aby odchylka byla větší než $a_s = \pm 45^\circ$, protože by bylo provozování solárního systému už neúčinné a ekonomicky nevýhodné, viz Obrázek 1.4-1 Zde je vidět, že při větších odchylkách od nulového azimutu je intenzita slunečního záření až o jednu třetinu menší, což s připočtením účinnosti solárního systému a proměnlivosti intenzity slunečního záření v závislosti na změnu počasí tvoří velký rozdíl.



Obrázek 1.4-1 Dávka slunečního záření v závislosti na odchylce solárního systému od azimutu [10]

1.5 Využití solární energie

V praktických podmínkách nelze využít všechnu solární energii, která dopadá na povrch Země. Existuje zde totiž několik omezujících faktorů, které ovlivňují praktické využití solárních systémů. Hlavní faktor je účinnost solárních systémů, která je vždy menší než 100 %. Z toho důvodu lze využít jen část z celkové energie dopadající na povrch Země. U solárních systémů na ohřev TUV se účinnost kolektorů pohybuje kolem 10 – 60 %, přičemž nejvíce záleží na typu solárního kolektoru a teplotě okolí. U běžně na trhu dostupných fotovoltaických panelů se účinnost pohybuje kolem 15 %, zatímco jejich účinnost stářím klesá. Dalším z faktorů je nepoměr mezi okamžitou spotřebou a momentální nabídkou solární energie. Největší nabídka je v letním období, přičemž největší poptávka je v období zimním. Omezit využití solární energie může i problém finanční náročnosti solárních systémů, jelikož má solární energie malou plošnou hustotu. Proto musí být zařízení pro využití solární energie

dostatečně velké, tím pádem je i finančně nákladné a uživatel může být limitován problémem doby návratnosti investice do solárního systému. Existují ale i další faktory, které jsou spíše netechnického charakteru. Může se například objevit situace, ve které nelze solární systém nainstalovat čistě z architektonických důvodů.

Využití solární energie lze rozdělit podle energetické přeměny:

Přeměna slunečního záření na teplo do 100 °C, které se v praxi nejčastěji využívá k účelům:

- ohřev TUV
- ohřev bazénové vody
- ohřev vzduchu a vytápění objektů
- vaření a sušení
- destilace vody
- tepelný motor
- solární chlazení a klimatizace
- dezinfekce vody

Přeměna slunečního záření na teplo nad 100 °C, které se v praxi nejčastěji využívá k účelům:

- solární tepelné elektrárny, solární pece (výzkum materiálů, tavení kovů)

Přeměna slunečního záření na elektrickou energii, která se v praxi nejčastěji využívá:

- fotovoltaické systémy

Přeměna slunečního záření na mechanickou nebo chemickou energii, která se v praxi nejčastěji využívá:

- využití fotochemických účinků slunečního záření
- výroba vodíku
- štěpení vazby v chemických sloučeninách
- fotochemické reakce k odbourání pesticidů v odpadních vodách

1.6 Výhody solární energie

Solární energie se řadí do kategorie obnovitelných zdrojů. Lze tedy říci, že je to nevyčerpatelný zdroj energie, který bude vždy k dispozici. Je to ekologicky čistá energie, která neprodukuje škodlivé odpady, její využívání nemá téměř žádný dopad na životní prostředí a žádným způsobem neovlivňuje tepelnou rovnováhu Země. Má výbornou plošnou dostupnost a je k dispozici zcela zdarma, protože zde není problém s výpadkem dodávky či zvyšováním cen. Také šetří fosilní paliva, u kterých dochází při jejich spalování ke znečišťování ovzduší. Většina systémů je technicky jednoduchá, má minimální nároky na obsluhu a údržbu a vyznačuje se dlouhou životností. Tyto systémy je možné instalovat všude, i v hustě obydlených částech, jelikož jsou bezpečné a neprodukují žádný hluk.

1.7 Nevýhody solární energie

Jedna z největších nevýhod solární energie je její časová proměnlivost. Nelze s vysokou pravděpodobností určit, kolik jí v daný čas dopadne ze Slunce na povrch Země. Proto musí být vždy k dispozici ještě náhradní zdroj energie, který lze použít v případě nedostatku slunečního svitu. Kvůli malé plošné hustotě solární energie musí být solární systém poměrně velký, aby bylo dosaženo požadovaného výstupního výkonu, což může v mnoha případech působit komplikace při jeho instalaci či nutnost zbytečného poddimenzování systému. Dalšími nemalými nevýhodami jsou také vysoké počáteční investiční náklady, kde je značný cenový rozdíl mezi klasickými používanými technologiemi a technologiemi pro získávání energie z obnovitelných zdrojů. Poté nízká účinnost především u fotovoltaických systémů a jako další nevýhoda pro uživatele může být i fakt, že instalace solárních systémů často vyžaduje dobrou tepelnou izolaci objektu nebo i samotnou úpravu topné soustavy, což zvyšuje počáteční investiční náklady a prodlužuje dobu instalace.

2 Klasické solární tepelné systémy pro ohřev TUV

Solární tepelné systémy přeměňují energii slunečního záření na energii tepelnou. Vzniklé teplo pak lze využít několika způsoby, které jsou popsány níže. Tyto systémy lze také rozdělit do příslušných skupin podle jejich vlastností.

2.1 Rozdělení solárních tepelných systémů

Tepelné solární systémy se dělí:

Podle využití získané energie:

- systémy pro ohřev užitkové vody
- systémy pro ohřev bazénové vody
- systémy pro solární vytápění
- systémy pro chlazení a klimatizace
- výroba tepla pro průmyslové použití
- temperování průmyslových hal vzduchovými kolektory

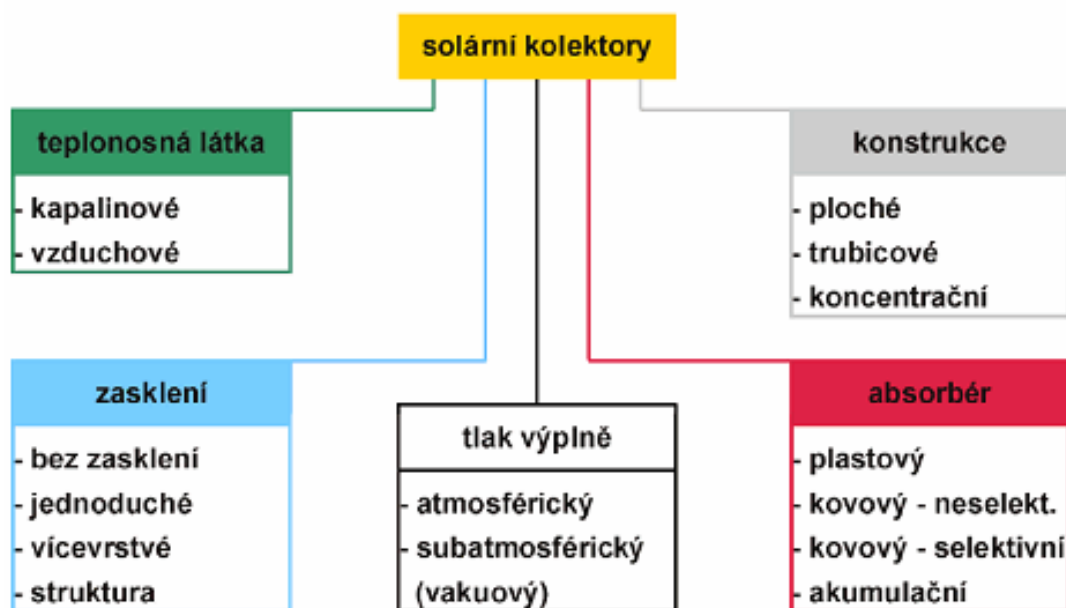
Podle způsobu přenosu tepla:

- Pasivní systémy, ve kterých je teplo přenášeno pasivně. Princip je takový, že u přenosu tepla není použito jiné technické zařízení a proto tento systém není závislý na dodávce elektrické energie. Tyto systémy jsou tedy konstrukčně velmi jednoduché a spolehlivé, což je jejich velká výhoda. Na druhou stranu nejsou tolik flexibilní, protože pro jejich správnou funkčnost je potřeba umístit zásobník nad kolektor. Uchovají ohřátou vodu jen krátkou dobu, protože mají velké tepelné ztráty a tím klesá jejich účinnost. Kvůli jejich nevýhodám nelze pasivní systémy používat v zimě.
- Aktivní systémy, ve kterých je teplo přenášeno pomocí jiného technického zařízení v podobě čerpadla nebo ventilátoru ve spojení s vhodným regulačním zařízením.

Podle teplotního média:

- Systémy používající k přenosu tepla vodu nebo nemrznoucí směs, která je tvořena u většiny případů kapalinou na bázi vody a propylenglykolu. Tyto solární kapaliny mají nízký bod tuhnutí, jsou s přidáním nejdovratných inhibitorů koroze, stabilizátorů pro dosažení zvýšené tepelné stability a prodloužené životnosti kolektorů. Tyto systémy jsou v České republice nejběžněji používané, jelikož se dobře integrují do stávajících systémů pro ohřev vody a vytápění. Voda nebo solární kapalina má velkou tepelnou kapacitu, což je velká výhoda těchto systémů.
- Systémy používající k přenosu tepla vzduch mají své nejširší uplatnění v nízkoenergetických a pasivních domech. Jejich výhodou je jednoduchá konstrukce kolektoru. Naopak jejich nevýhodou je nízká tepelná kapacita vzduchu, proto se při jejich návrhu musí volit potrubí o velkém průměru a je zde potřeba i většího objemu tepelného zásobníku.

Další rozdělení solárních tepelných systémů lze provést dle typu kolektoru. Viz Obrázek 2.1-1.



Obrázek 2.1-1 Rozdělení solárních kolektorů [11]

2.2 Systémy pro solární vytápění

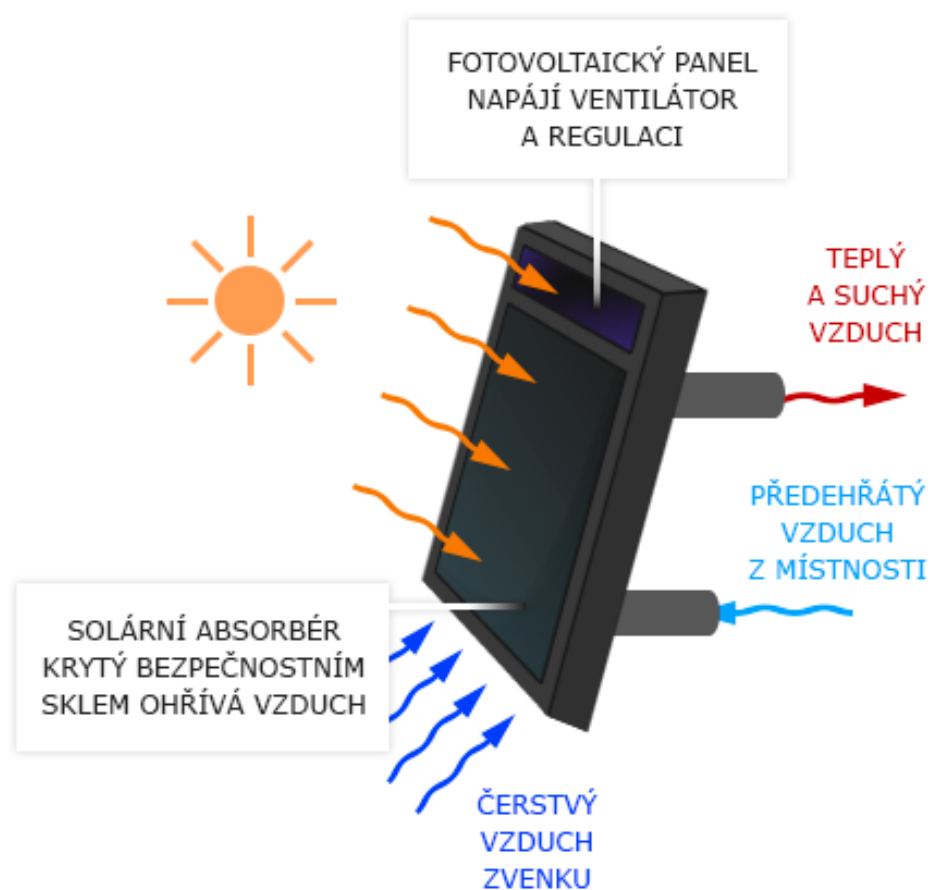
Na vytápění, ať už rodinného domu nebo průmyslové haly, se spotřebuje nejvíce energie z celkové energetické spotřeby daného objektu. Pokud se provádí vytápění klasickým způsobem, tj. kotlem na tuhá paliva, plynovým kotlem nebo elektrickým kotlem, nevzniká zde žádné omezení dostupnosti vstupních zdrojů do těchto systémů. Jednoduše řečeno, tuhá paliva v podobě černého uhlí a dřeva, plyn nebo elektřina, jsou zatím vždy a neomezeně dostupná. U solární energie potřebné k vytápění už to ale tak není, protože je zde významný nepoměr mezi nabídkou a poptávkou sluneční energie pro vytápění. V letním období, kdy jsou venkovní i vnitřní teploty vysoké a dostupnost solární energie je největší, je spotřeba energie na vytápění nulová, protože v těchto měsících zkrátka není potřeba topit. Naopak v zimním období, kdy jsou venkovní i vnitřní teploty nízké a bylo by potřeba topit, je dostupnost solární energie nejmenší. Solární systém pro vytápění je tedy potřeba navrhnout tak, aby co nejlépe fungoval v zimním období, jenže velká spotřeba tepla při nízké intenzitě slunečního záření v zimě bude vyžadovat příliš velkou plochu kolektorů. Tento navržený systém pro vytápění bude tedy příliš velký a zároveň i drahý, přičemž bude v letním období navíc nepoužitelný z důvodu předimenzování, při kterém by mohlo dojít i k jeho destrukci. Po zvážení všech těchto okolností je jasné, že solární systém pro vytápění bude nejlépe fungovat v součinnosti s dalším druhem vytápění, které má stabilnější parametry. Lze ho tedy spojit s klasickým zařízením pro vytápění, jako jsou již zmíněné různé druhy kotlů, nebo ho lze spojit se zařízením využívající obnovitelný zdroj energie, jako jsou například tepelná čerpadla. Druhá varianta je navíc o mnohem více šetrnější k životnímu prostředí.

2.2.1 Teplovzdušné solární panely

Jedním ze způsobů, jak lze využít solární energii pro vytápění, jsou teplovzdušné solární panely. Jejich funkce spočívá na principu ohřívání vzduchu pomocí solární energie, kdy je venkovní vzduch nasáván do teplovzdušných solárních panelů a prostupuje přes labyrint průduchů. Díky solárně absorpčním materiálům uvnitř panelu se vzduch ohřeje a je poté vháněn pomocí ventilátoru do místnosti. Teplý vzduch pak místnost nejen ohřívá, ale i temperuje a větrá. Teplovzdušný solární panel navíc nepotřebuje žádnou elektrickou energii, protože ventilátor je napájen z proudu vyrobeného fotovoltaickým článkem, který je součástí teplovzdušného panelu.

Nejlepší umístění panelu je na jižní stěně budovy, na které dosahuje nejvyšší účinnosti. Panel lze také instalovat na střechu budovy, a to jak vertikálně, tak i horizontálně, přičemž je ale vždy důležité, aby panel nebyl ve stínu stromů nebo okolních budov. Samotná montáž teplovzdušného panelu je už pak velice jednoduchá, jelikož stačí pouze panel připevnit a vytvořit otvor ve zdi, kudy povede potrubí pro přísun ohřátého vzduchu do místnosti.

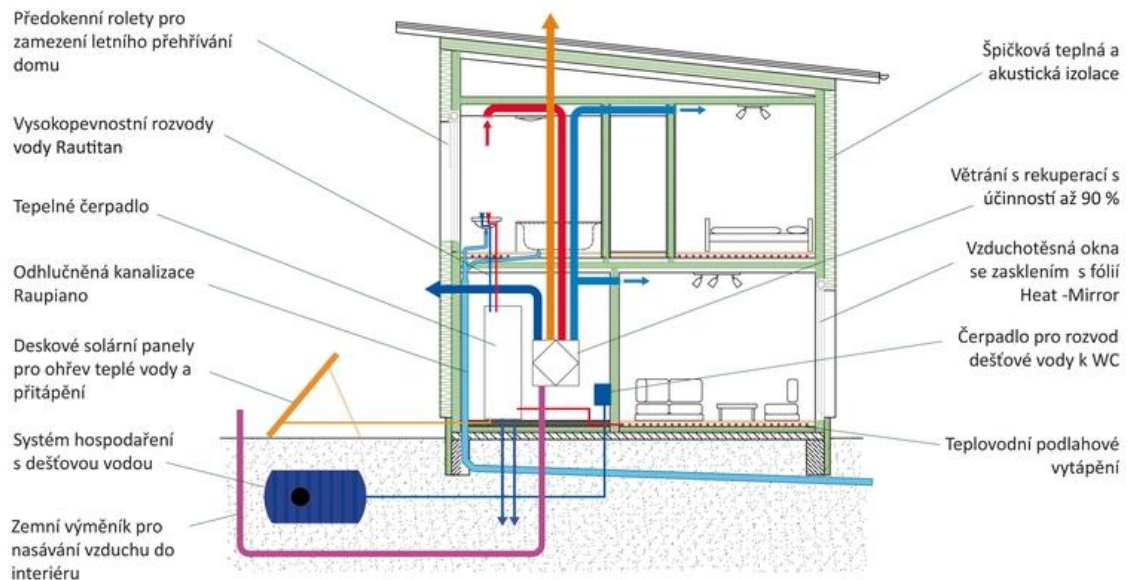
Tyto panely mohou být využity v rodinných, víkendových či bytových domech, chatách, skladech, dílnách, garážích, kancelářích, sportovních nebo výrobních halách. Výhody teplovzdušných panelů spočívají v celoročním větrání, odvodu vlhkosti či pasivním chlazení. Mají také velice tichý chod, podporují vytápění, bezúdržbový provoz, obsahují vzduchový filtr a hlavně mají nulové provozní náklady. Teplovzdušný solární panel lze vidět na Obrázku 2.2-1.



Obrázek 2.2-1 Teplovzdušný solární panel [12]

2.2.2 Pasivní solární systémy pro vytápění

Solární energii lze využít tzv. pasivním způsobem. Ten se uplatňuje zejména při návrhu obytných domů. K přeměně energie totiž není použité žádné mechanické zařízení a stavba tak dokáže využít co nejúčelněji solární energii jen pomocí architektonických prvků. Těmto prvkům se souhrnně říká solární architektura. Stavba se navrhuje tak, aby v letním období za působení silného slunečního záření udržela přijatelné nízké vnitřní teploty objektu a v zimním období aby naopak dobře odolala nízkým venkovním teplotám a měla co nejmenší tepelné ztráty. Do solární architektury lze zařadit například prvky jako žaluzie, které regulují množství propuštěného slunečního záření do objektu. Dalšími prvky ovlivňujícími výslednou teplotu jsou veranda, solární roleta či fasáda a další. Samotná orientace objektu je velice důležitá, protože jiné vlastnosti má objekt orientovaný na sever nebo na jih. V dnešní době se vyrábějí i solární okna, která propouštějí více slunečního záření a tím zlepšují tepelný zisk objektu v jarním a podzimním období. Tato okna jsou nejvíce žádaná do nízkoenergetických a pasivních domů, ve kterých tvoří velké prosklené plochy orientované na jižní či východní stranu. Každé okno má solární faktor, který udává, jak velké procento slunečního záření sklo propustí. Čím je tento faktor vyšší, tím více okno vyhřívá místnost. Na Obrázku 2.2-2 lze vidět dům, který využívá prvky solární architektury.



Obrázek 2.2-2 Pasivní dům využívající prvky solární architektury [14]

Dalším pasivním prvkem je Trombeho stěna, která je vystavěna z vysoce akumulčních materiálů a je opatřena černým nátěrem pro maximální pohlcení slunečních paprsků. Mohou to být např. plně pálené cihly, beton, kámen, vápenopískové cihly aj. Před touto černou zdí je instalovaná skleněná bariéra ve vzdálenosti cca 10 cm. Černá barva zdi pohltí sluneční záření a vzniklé teplo se částečně akumuluje a částečně se předá vzduchu mezi zdí a sklem. Ohřátý vzduch pak cirkuluje přirozeným způsobem do místnosti díky průduchům v podlaze a stropu a vzniká tak uzavřený oběh. V noci se průduchy uzavřou a je předáváno pouze teplo naakumulované zdi. Funkce Trombeho stěny od podzimu do jara nespočívá pouze v dodávání teplého vzduchu z mezery do interiéru, ale také dodávání tepla sáláním z akumulční stěny. Pokud je však nedostatek slunečního záření a venkovní teplota je nízká, může stěna přispívat k tepelným ztrátám budovy. Lze tomu zamezit instalací dvojitého zasklení, což ale zvyšuje cenu a mírně zhoršuje účinnost stěny, nebo stěnu opatřit otvory se záklopkami, aby jimi neutíkalo teplo z místnosti. V horkých letních měsících, když může dojít k přehřátí Trombeho stěny, je nutné pevně uzavřít horní klapku v akumulční stěně a naplno otevřít klapku v prosklené stěně, aby nežádoucí teplý vzduch mohl odcházet z mezery ven. Stěna může stavbu i ochlazovat, otevře-li se spodní klapka v akumulční stěně spolu s dalším otvorem, například světlíkem, kde tak stěna dokáže nenuceně ventilovat vzduch v interiéru. Trombeho stěna viz Obrázek 2.2-3.



Obrázek 2.2-3 Trombeho stěna [15]

2.3 Systémy pro ohřev bazénové vody

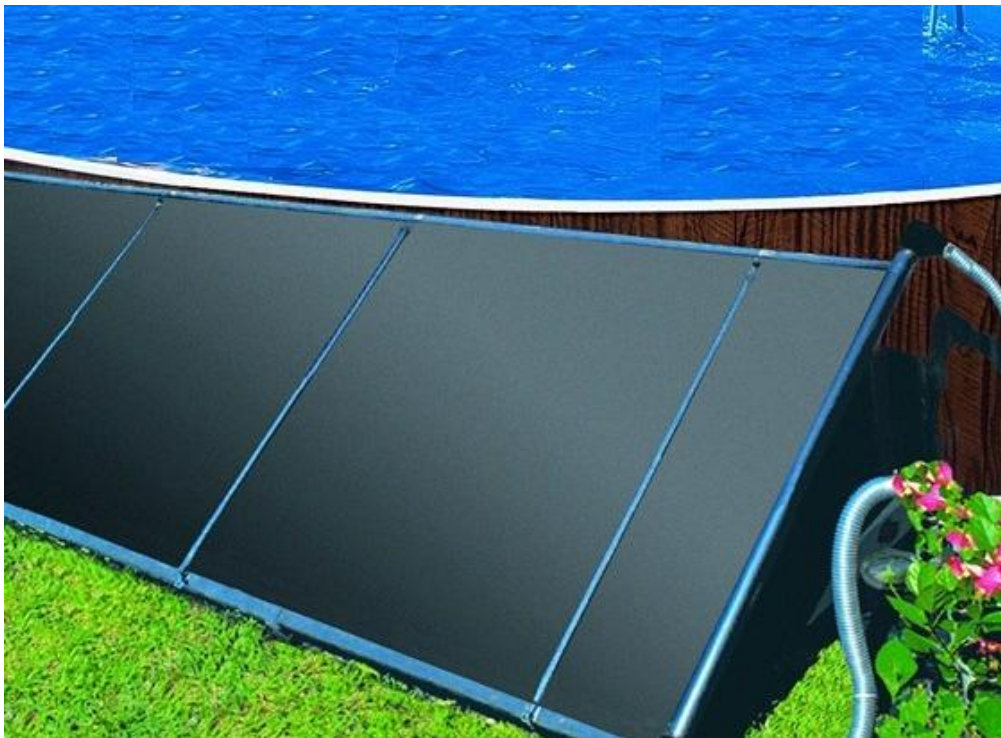
Ohřev vody ve venkovních bazénech je z technického hlediska ideální využití solární energie, jelikož se voda v bazénu ohřívá jen v letních měsících, kdy je intenzita solárního záření největší. V tomto období nehrozí žádné zamrznutí systému, a tak se ohřívání vody v bazénu může provádět bez tepelného výměníku. Sám bazén slouží totiž jako velký zásobník tepla.

Bazénová voda je ohřívána na teplotu stejnou nebo nepatrně vyšší, než je teplota okolí, což snižuje požadavky na velký výkon systému. V praxi je požadovaná teplota vody v bazénu v rozmezí 20 – 28 °C. V případě nižší teploty okolí by tedy zvýšení teploty vody v bazénu o několik °C nemělo činit problém ani kolektorům velmi jednoduchých konstrukcí. Oběh vody skrz kolektory může obstarávat filtrační zařízení, takže už není nutnost použití cirkulačního čerpadla. Při chladném počasí a tím i souvisejícím nedostatkem slunečního záření se bazén obvykle nevyužívá, nemusí se tedy instalovat ani další náhradní zdroj tepla pro ohřev vody. Voda pro venkovní bazény se zpravidla ohřívá v měsících od května do září, kdy venkovní teplota s velmi malou pravděpodobností klesne pod bod mrazu, a tak zde odpadá nutnost používat v kolektorech nemrznoucí směs. Díky menším požadovaným teplotám ohřáté vody v bazénu, například ve srovnání s ohřevem užitkové vody a vyšších požadovaných výstupních teplot vody, je konstrukce solárního kolektoru velice jednoduchá. Absorbér se nemusí zakrývat sklem a tak se zvýší celková účinnost ohřevu. Díky nepřítomnosti zasklení se proudící voda nezahřeje na vysokou teplotu, a proto mohou být vyrobeny kanálky a trubky absorbéru z plastu. Plast je odolný proti korozi díky obsaženému chlóru ve vodě, a proto je jeho použití výhodnější než například měď, která se používá především u kolektorů pro ohřev užitkové vody. Kvůli nižším teplotám proudící vody u systémů pro ohřev bazénové vody není nutný selektivní povrch absorbéru, proto jsou tedy tyto systémy konstrukčně mnohem jednodušší a levnější než systémy na ohřev užitkové vody.

Systémy pro ohřev bazénové vody mohou mít různá provedení, ať už profesionální či různé individuální konstrukční prototypy. Solární systémy vyrobené profesionálními výrobci lze rozdělit do dvou základních skupin:

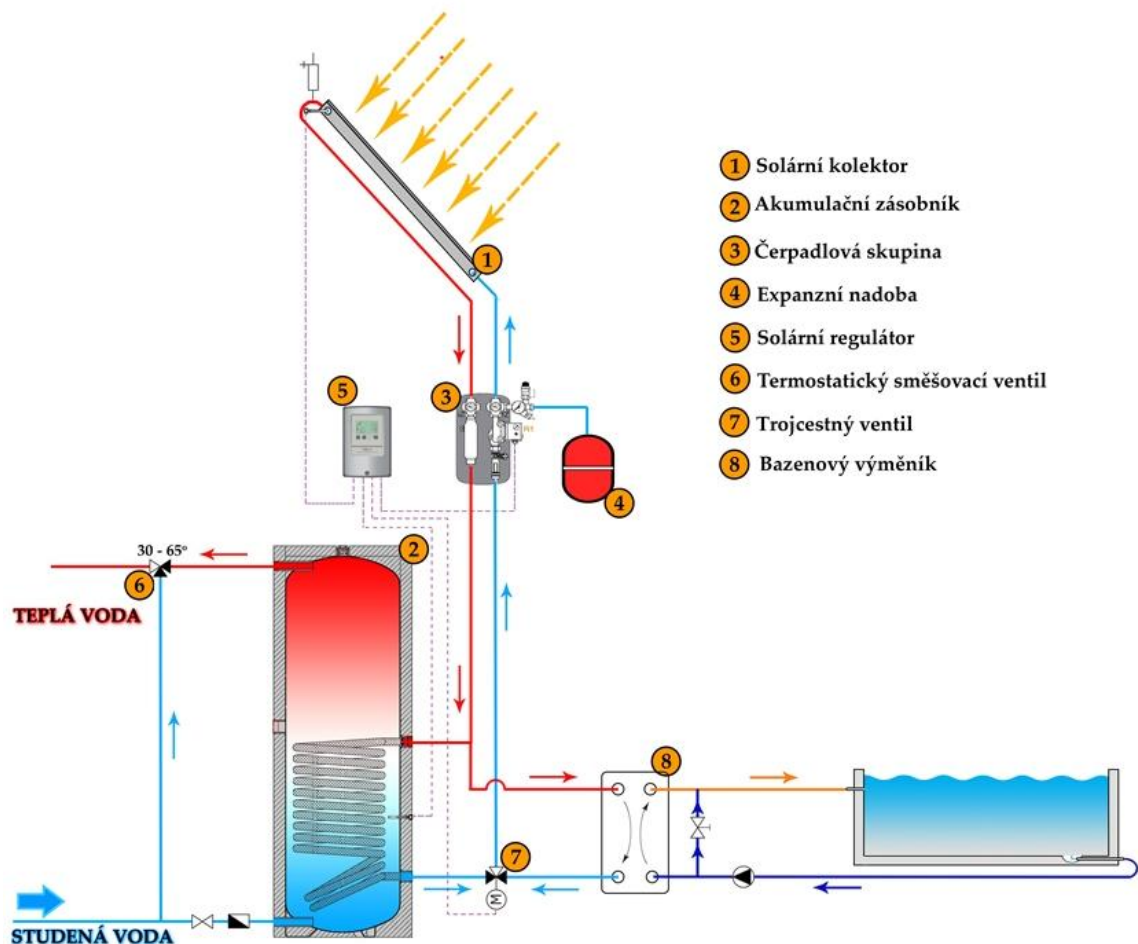
Typy systémů pro ohřev bazénové vody:

Přímý – jednookruhový systém ohřívající vodu pomocí solárních absorberů, viz Obrázek 2.3.-1. Solární absorber tvoří systém kanálků, do kterých je přivedena bazénová voda pomocí spodního přívodního potrubí. Dopadající solární záření na plochu absorberu vodu ohřeje a ta je odváděna horním sběrným potrubím zpět do bazénu. Oběh vody v absorberu pohání čerpadlo, které je součástí bazénové filtrace, což například šetří místo. Teplota absorpční plochy je měřena teplotním čidlem, které je součástí solární regulace. Toto čidlo pak při určité teplotě spíná čerpadlo pro cirkulaci vody absorberem. Absorbéry se instalují na nosnou konstrukci v blízkosti bazénu nebo volně do prostoru se sklonem 15 - 30° směrem na jih kvůli největším solárním ziskům. Pro nedostatek místa u bazénu nebo na zahradě lze absorbéry instalovat i na střechu domů, zde se ale mohou projevit tepelné ztráty z důvodu delšího přívodního potrubí do absorberů.



Obrázek 2.3-1 Přímý jednookruhový solární systém pro ohřev bazénové vody [16]

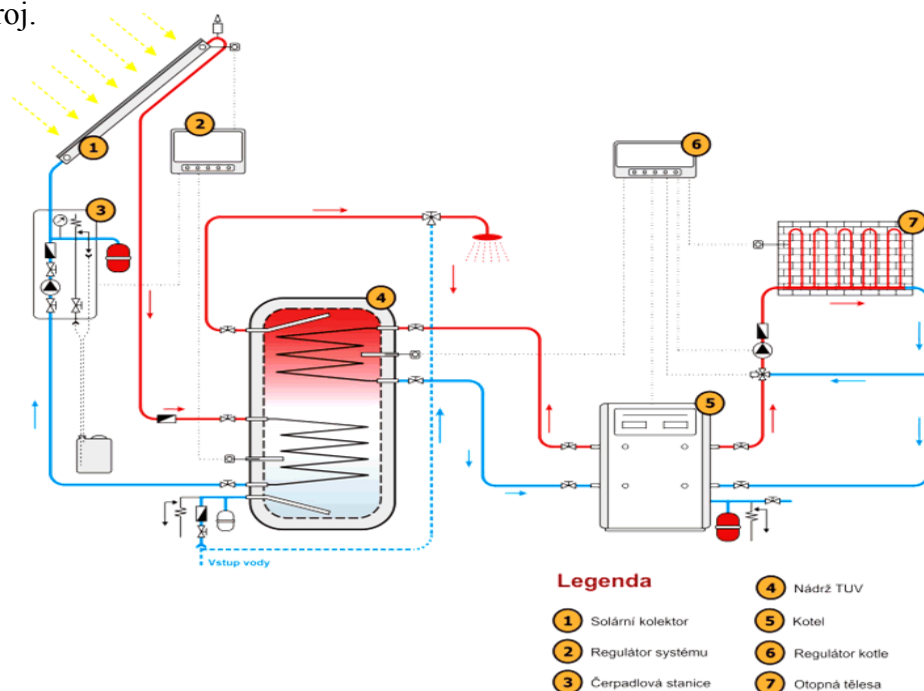
Nepřímý – dvouokruhový systém ohřívající vodu pomocí solárních kolektorů, viz Obrázek 2.3-2. Zde tvoří primární okruh vysoce selektivní solární kolektory, hnací jednotka s oběhovým čerpadlem, spojovací měděné potrubí, tepelný výměník a elektronická regulace. Sekundární okruh je tvořen samotným bazénem. Při dosažení požadované teploty v kolektorech teplotní čidlo sepne oběhové čerpadlo, které zajišťuje oběh teplotnosné kapaliny v primárním okruhu. Ve stejný okamžik sepne bazénové čerpadlo sekundárního okruhu a čerpá studenou vodu z bazénu do tepelného výměníku, kde teplotnosná kapalina předá své teplo studené vodě. Ohřátá voda cirkuluje zpět do bazénu a teplotnosná kapalina zpět do kolektorů, aby se mohl celý cyklus opakovat. Tento systém je více finančně náročný, ale lze ho kombinovat i se systémem pro ohřev užitkové vody.



Obrázek 2.3-2 Nepřímý dvouokruhový solární systém pro ohřev bazénové vody [17]

2.4 Systémy pro ohřev užitkové vody

Solární ohřev vody pomocí solárních kolektorů je v našich podmínkách jeden z nejvýhodnějších a nejběžnějších způsobů využití solární energie. Solární kolektory umístěné většinou na střeše domu na nosné konstrukci pohlcují solární záření, které transformují na teplo. Toto teplo v kolektorech ohřívá teplotnosnou kapalinu, která je tvořena z určitého poměru vody a (mono)propylenglykolu. Teplotnosná kapalina je přizpůsobena k používání i za nízkých teplot a vylučuje tak zamrznutí systému. Navíc jsou v teplotnosné kapalině rozpuštěné inhibitory koroze, které zabraňují korodování vytvořením tenké ochranné vrstvy na povrchu kovů. Ohřátá teplotnosná kapalina cirkuluje ze solárních kolektorů do teplotného výměníku, kde své teplo předá užitkové vodě. Poté se ochlazená teplotnosná kapalina vrací zpět do solárních kolektorů a celý cyklus se neustále opakuje. Potřebnou cirkulaci teplotnosné kapaliny zajišťuje oběhové čerpadlo, které spouští elektronická regulace a tvoří tak automatický a bezobslužný provoz celého okruhu. Elektronická regulace dále obsahuje teplotní čidla, pomocí kterých maximalizuje výkon celého systému v závislosti na teplotách v zásobníku a kolektorech. Pokud je teplota v solárních kolektorech vyšší o daný nastavený rozdíl než v teplotném zásobníku, regulace spustí čerpadlo, aby se voda v zásobníku mohla ohřát a vyrovnaly se tak teploty v zásobníku a kolektorech. Po vyrovnání teplot elektronická regulace čerpadlo vypne, aby se opět mohla ohřát teplotnosná kapalina v solárních kolektorech. Pokud nemá systém dostatečný solární zisk, zajišťuje dodatečný ohřev vody jiný sekundární zdroj.



Obrázek 2.4-1 Solární systém pro ohřev užitkové vody [18]

2.4.1 Části systému pro ohřev užitkové vody

Pro návrh solárního systému pro ohřev užitkové vody je nutné znát všechny komponenty toho systému, protože každý prvek má svou důležitou funkci a nezanedbatelný vliv na jeho celou funkčnost a účinnost. Při špatném návrhu nebo dimenzování jednoho prvku se totiž může stát, že bude systém fungovat jen omezeně a s malou účinností, anebo také nemusí fungovat vůbec.

2.4.1.1 Solární kolektor

Jednou z nejdůležitějších částí celého systému pro ohřev užitkové vody jsou solární kolektory. Pohlcojí sluneční záření, které přemění na tepelnou energii a tím ohřejí teplonosnou kapalinu. Tyto systémy se většinou používají celoročně, a proto jsou solární kolektory vystaveny různým podmínkám. V letních obdobích to může být například silný déšť, silný vítr a vysoké teploty. V zimních obdobích to jsou naopak nízké teploty, sníh nebo krupobití. Tyto podmínky mohou velkou mírou přispět k jejich materiálové degradaci. Z tohoto důvodu musí být kolektory vyrobeny z kvalitních materiálů, aby odolaly všem klimatickým podmínkám a splňovaly tak bezchybně svou funkci. Samotný solární kolektor se skládá z několika dalších částí, které jsou nejlépe vidět na průřezu plochého deskového kolektoru, viz Obrázek 2.4.1-1.



Obrázek 2.4.1-1 Průřez plochým deskovým kolektorem [19]

2.4.1.2 Typy solárních kolektorů

Ploché neselektivní kolektory – u těchto kolektorů tvoří absorber měděný plech, který je natřen černou nebo jinou co nejtmavší barvou pro co největší pohlcení slunečního záření. Sluneční záření zahřívá absorpční plochu kolektoru a vzniklé teplo ohřívá měděnou trubičku, která je nalisovaná nebo navařená na spodní stranu absorberu. Teplo z těchto trubiček je odváděno teplotonosnou kapalinou do spojovacích trubic kolektoru a odtud pak do solárního okruhu. Všechny tyto důležité části jsou vsazené do hliníkového nebo ocelového pouzdra kolektoru, které je vyplněno tepelnou izolací a ze svrchu je zakryto tvrzeným bezpečnostním sklem. Toto sklo má nízký obsah oxidů železa a nečistot, aby byla zajištěna vysoká propustnost slunečního záření. Navíc je opatřeno texturováním, což snižuje nežádoucí odrazivost slunečního záření. Ploché neselektivní kolektory lze využívat jen pro sezónní ohřev nebo předehřev vody při nízké teplotní úrovni vzhledem ke značným tepelným ztrátám vlivem sálání absorberu v zimním období. Tento typ kolektorů má velice jednoduchou konstrukci a princip, a proto je jeden z nejlevnějších.

Ploché selektivní kolektory – rozdíl mezi těmito kolektory a plochými neselektivními kolektory je v tom, že absorber je opatřen speciální, vysoce selektivní vrstvou, která má za úkol pohltit maximum solárního záření a přeměnit ho na tepelnou energii. Navíc snižuje tepelné ztráty sáláním z povrchu absorberu o 15 – 30 %. Na boční a zadní straně kolektorové skříně je umístěna tepelná izolace. Tyto kolektory mají při celoročním provozu výborné výkonnostní vlastnosti, vysokou spolehlivost, dlouhou životnost a vykazují výhodný poměr dosaženého výkonu vůči vynaloženým investičním nákladům. Jejich účinnost se pohybuje mezi 70 – 80 %, a proto jsou pro většinu uživatelů nejvýhodnější a v současné době nejrozšířenější. Výhodou těchto kolektorů je i možnost automatického zbavení se sněhu z plochy kolektorů.

Ploché vakuové kolektory – tyto kolektory se velice podobají technickému řešení plochých selektivních kolektorů, přičemž ale mají lepší vlastnosti, jelikož vykazují menší tepelné ztráty vyzařováním do okolí. To je způsobeno nižším tlakem uvnitř kolektoru než je atmosférický tlak v okolí kolektoru. Díky svému většímu výkonu mají dobré uplatnění v celoročním ohřevu vody, v průmyslových aplikacích a lze je také instalovat do vytápěcích systémů. Tyto kolektory jsou finančně náročnější než klasické selektivní kolektory, jelikož v sobě spojují výhody plochých selektivních a trubicových vakuových kolektorů.

Trubicové vakuové kolektory – trubicové kolektory jsou dvojího typu. Prvním typem je trubicový jedностěnný vakuový kolektor. Kolektor s plochým spektrálně selektivním absorberem je umístěn ve skleněné vakuované trubici s jednou stěnou. Má vysokou účinnost v celém teplotním rozsahu díky výraznému omezení tepelných ztrát a vysokému přenosu tepla z absorberu do teplotnosné kapaliny. Je vhodný pro většinu aplikací, ale vzhledem k vysoké pořizovací ceně se spíše hodí pro kombinované soustavy pro vytápění nebo průmyslové vysokoteplotní aplikace při provozních teplotách nad 100 °C. Druhým typem je trubicový dvojtěnný vakuový kolektor. Ten má kolektor s válcovým spektrálně selektivním absorberem v podobě absorpční skleněné trubky umístěné ve vakuované skleněné trubici s dvojitou stěnou. Tyto kolektory mají obecně nižší účinnosti při nízkých teplotách než například ploché kolektory, protože přenos tepla z absorpční trubky do teplotnosné kapaliny je problematicky zajištěn pomocí hliníkové teplotnosné lamely. Proto vzhledem k vysoké pořizovací ceně se spíše hodí pro kombinované soustavy pro vytápění nebo průmyslové vysokoteplotní aplikace při provozních teplotách nad 100 °C. Oba typy kolektorů navíc nemají možnost automatického zbavení se sněhu z plochy kolektorů, jako je tomu u plochých selektivních kolektorů.

Teplovzdušné vakuové (Heat Pipe) kolektory – tyto kolektory se velice podobají technickému řešení trubicových vakuových kolektorů, ale dochází zde k jinému způsobu předávání tepla. Místo sběru tepla měděnou trubkou, ve které protéká teplotnosná kapalina, je teplo předáváno tepelné hermeticky uzavřené trubici, ve které je obsažena těkavá látka. Působením tepla se tato látka odpařuje a stoupá vzhůru k výměníkům, ve kterých předává své teplo teplotnosné kapalině. Po ochlazení kondenzuje a stéká dolů do spodní části trubice, kde opět absorbuje teplo ze slunečního záření a celý proces se opakuje. Kolektory lze využít na přitápění objektů v přechodném období jara a podzimu. Díky použité technologii předávání tepla je zde nízké riziko přehřátí systému. Nevýhodou je opět jejich vysoká finanční investice.

Plastové absorbéry – největší využití mají tyto plastové absorbéry v systémech pro ohřev bazénové vody. Dopadající sluneční záření ohřívá hladký černý povrch absorberu, od kterého se ohřívá bazénová voda proudící uvnitř. Absorbér není zakryt sklem, jeho konstrukce je velmi jednoduchá, a proto je i pro svou dobrou účinnost finančně dostupný.

Soustředující koncentrační kolektory – v kolektoru jsou použita zrcadla (reflektory), čočky (refrakty) nebo jiné optické prvky, aby došlo k co nejlepšímu usměrnění a soustředění slunečního záření, které prochází aperturou kolektoru do ohniska absorberu o menší ploše, než je vlastní plocha apertury. Absorbér je tak ohříván slunečním zářením ze všech stran a dochází tedy k lepšímu ohřevu teplotnosné kapaliny. Dalším typem koncentračního kolektoru je kolektor s Fresnelovou čočkou. Tato čočka je zabudovaná ve střešní konstrukci a v ohniskové vzdálenosti 40 cm je pod ní umístěn rám s absorberem. Fresnelova čočka oddělí přímou a difuzní složku dopadajícího slunečního záření, kdy pak difuzní složka proniká do vnitřních prostor a osvětluje tak interiér. Koncentrovaná přímá složka slunečního záření je soustředěna na absorber, kde ohřívá teplotnosnou kapalinu.

Vestavěné kolektory – tyto kolektory jsou vestavěny ve střešní krytině. Mají minimální tepelné ztráty na zadní straně kolektoru, protože zde neproudí žádný vzduch mezi střechou a zadní stranou kolektoru. Ta je součástí podkroví a tak se případně její minimální tepelné ztráty dají využít k vytápění těchto prostor. Vestavěné kolektory mají výhodu spíše jen z estetického hlediska a také šetří finanční náklady za nosnou konstrukci.

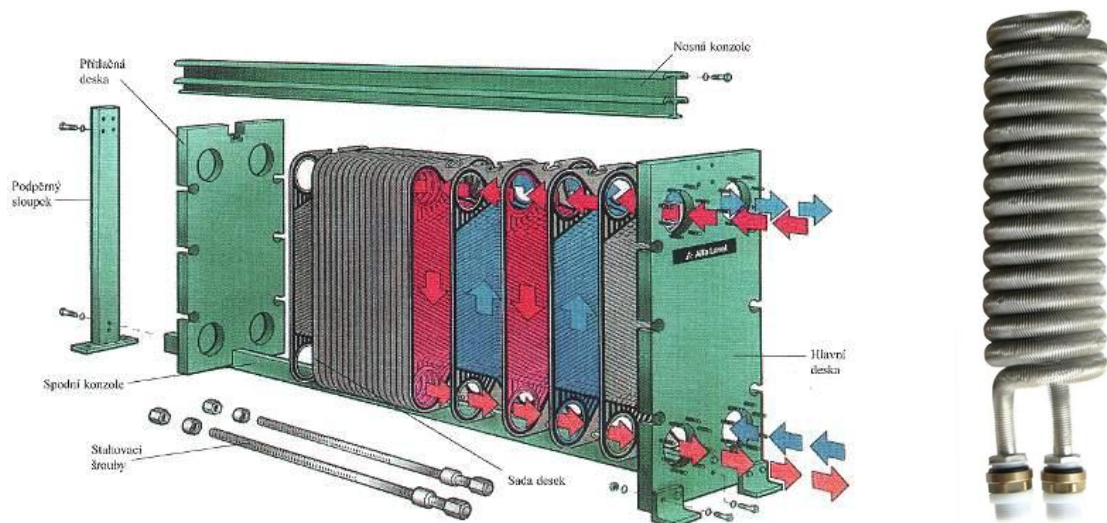
2.4.1.3 Tepelný výměník

Tepelný výměník slouží k předání tepla mezi teplotnosnou kapalinou a užitkovou vodou. Používá se tedy při rozdílnosti teplotnosných látek, kdy na jedné straně je speciální teplotnosná kapalina a na druhé straně obyčejná voda. Nebo se používá při rozdílnosti tlakových poměrů v jednotlivých okruzích, kdy solární systém má jiné tlakové parametry než vodovodní soustava. U všech tepelných výměníků je vždy velký nebo malý teplotní rozdíl mezi výstupní ohřívanou a vstupní topnou kapalinou. Nikdy se tyto dvě teploty nebudou rovnat, protože žádný tepelný výměník nemá 100% termickou účinnost. Je vždy nutné, aby byl výměník správně dimenzovaný pro svůj systém. Výměník musí být dostatečně velký a musí zvládat dostatečné předávání tepla, aby nedocházelo k návratu teplotnosné kapaliny o vysoké teplotě zpět do kolektorů. Teplotnosná kapalina musí vždy předat všechno své teplo ohřívání vodě a musí se vracet zpět do kolektorů ochlazená. Jinak by výměník pracoval s nízkou účinností a celý systém by fungoval nekvalitně.

Pro správný výběr tepelného výměníku je třeba znát předávací výkon. Ten je závislý především na teplotním rozdílu mezi ohřivanou a topnou stranou výměníku, jinak řečeno na teplotním spádu. Čím je větší rozdíl mezi ohřivanou a topnou stranou výměníku, tím je menší potřebná jeho velikost. Z tohoto důvodu u systémů, které nemají vysoké nároky na nízkou teplotu ohřívání vody jako například různé typy kotlů, stačí používat tepelné výměníky menších rozměrů.

Typy tepelných výměníků:

Deskový tepelný výměník – teplo je zde předáváno celou plochou desky výměníku, a proto přestupní koeficient tepla je až 10x větší než u trubkových výměníků. Předávací výkon je až v řádech stovek kilowatů. U těchto výměníků je nutno použít oběhové čerpadlo na otopné i ohřívací straně kvůli kvalitní výměně kapalin, což zvyšuje pořizovací náklady. S tím souvisí i vyšší provozní náklady, jelikož je zde třeba přihlídnout k dvojnásobnému elektrickému příkonu na pohon oběhových čerpadel.



Obrázek 2.4.1-2 Vlevo: Deskový tepelný výměník, Vpravo: Trubkový tepelný výměník [19,20]

Trubkový tepelný výměník – teplo je zde předáváno pláštěm trubky, takže přestupní plocha u těchto tepelných výměníků je mnohem menší než u deskových tepelných výměníků. Trubky jsou stočené většinou do spirály nebo do jiných různých tvarů. Tyto výměníky mají jednoduchou konstrukci a malou tlakovou ztrátu. Na druhou stranu ale mají nízký přestupní koeficient tepla, a proto se používají v systémech, ve kterých není požadavek na malý teplotní rozdíl mezi topnou a ohřivanou kapalinou.

2.4.1.4 Solární zásobník

Zásobníky tepla jsou velice důležitou částí všech systémů pro ohřev vody, protože slouží pro akumulaci tepelné energie, která je nepravidelně přiváděna ze solárních kolektorů v závislosti na klimatických podmínkách. Zásobník tepla musí mít co nejmenší tepelné ztráty, aby ohřátá voda mohla být použita při proměnlivém odběru s požadovanou teplotou ohřáté vody. Z praktických poznatků vyplývá, že pokud má solární soustava skvěle navržený solární kolektor, ale je napojena na špatně dimenzovaný tepelný zásobník, bude vykazovat nízké celkové zisky a bude poskytovat nízké pokrytí potřeby tepla. Proto je vhodné věnovat velkou pozornost výběru správného tepelného zásobníku. Tepelné zásobníky lze dělit podle účelu na:

Zásobníky teplé vody – zásobníky akumulují teplo přímo do připravované teplé vody, a proto podléhají hygienickým požadavkům na pitnou vodu. Tyto zásobníky musí být na vnitřní straně ve styku s pitnou vodou opatřeny povrchovou úpravou, která je odolná proti korozi a splňuje dané hygienické normy. Důraz je kladen i na vysokou trvanlivost, a proto se často vyrábí z nerezové oceli. Jednoduché ocelové nádrže na pitnou vodu a běžné smaltované zásobníky se od sebe cenově příliš neliší, zatímco nerezové zásobníky jsou až dvojnásobně dražší.

Zásobníky tepla – zde se pro akumulaci tepla používají běžné ocelové nádrže, které nemají vnitřní úpravu. Tyto tepelné zásobníky lze využít jak pro kombinované soustavy s přitápěním, tak pro solární soustavy k přípravě teplé vody, kde tento způsob využívá externích deskových výměníků pro průtokový ohřev vody. Zásobníky tepla lze podle konstrukce rozdělit na:

Tlakové zásobníky – tyto zásobníky jsou konstrukčně navrženy a vyrobeny tak, aby zvládaly provoz za běžných tlaků ve vodovodním rozvodu, kde zásobníky teplé vody mají 0,6 – 1 MPa, nebo v otopné soustavě, kde zásobníky tepla mají 250 – 300 kPa. Pro udržení tlaku v přípustných mezích při objemových změnách vlivem teplotní roztažnosti vyžadují tlakové vodní zásobníky expanzní nádobu zpravidla o velikosti 5 – 6 % akumulačního objemu. V případě napojení rozvodů potrubí na zásobníky tepla, například otopných soustav, je nutné objem expanzní nádoby stanovit výpočtem na základě údajů o připojeném objemu a tlakových poměrech v síti. [22]

Beztlaké zásobníky – výhodou u beztlakých zásobníků tepla je menší tlakové namáhání. Proto zde nejsou potřebné velké tloušťky stěn ocelových zásobníků a lze tedy použít lehké a levnější materiály pro jejich výrobu jako např. plasty, sklolaminát apod. Jsou použity převážně u větších objemů jako například velkoobjemový zásobník v rodinných domech. U těchto zásobníků se neprovádí instalace expanzní nádoby, protože změna objemu vodní náplně vlivem teploty se projeví v zásobníku změnou výšky volné hladiny. Nevýhoda je nutnost oddělení soustavy dalším výměníkem z důvodu styku vodního objemu s okolním vzduchem, což snižuje využitelnou teplotu naakumulovaného tepla ze solární soustavy.

Kombinované zásobníky – kombinují vlastnosti zásobníků tlakového a zásobníku teplé vody. Zásobník pitné vody menšího rozměru je umístěn v horní části tlakového zásobníku, ve které je největší teplo, čímž je dosaženo oddělení pitné a užitkové vody, kde navíc teplo z topného okruhu ohřívá pitnou vodu. Zásobník pitné vody je napojen na vodovodní okruh, a proto musí vydržet tlak 0,6 – 1 MPa. Vnější beztlaký zásobník takové nároky nemá.

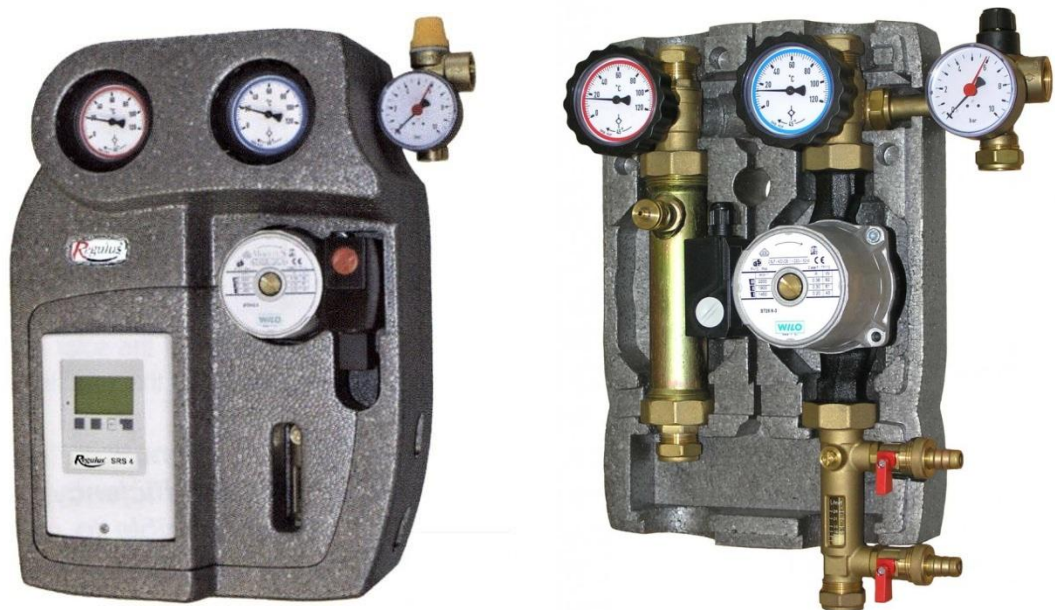
2.4.1.5 Řízení a regulace solárních systémů

Regulace solárních systémů porovnává aktuální teploty na kolektorech a aktuální teploty v tepelném zásobníku. Pokud je na kolektorech vyšší teplota, dojde ke spuštění oběhového čerpadla solárního systému a tím k přenosu tepla z kolektorů do tepelného zásobníku přes tepelný výměník. Když se rozdíl teplot vyrovná nebo klesne pod určitou nastavenou hodnotu, dojde k odstavení čerpadla a přenos tepla je zastaven. Regulování takového systému je ovlivněno pouze nastavením teplotní difference pro zapnutí a vypnutí oběhového čerpadla solárního systému. Pro maximální využití solární energie je vhodné správně umístit tepelný výměník a především čidlo v tepelném zásobníku. Pro regulaci je také důležité nastavení náhradního zdroje tepla pro ohřev vody tak, aby docházelo k maximálnímu využití dopadající solární energie na solární kolektory. Nejjednodušší způsob regulace u jednoduchých systémů spočívá pouze ve dvou stavech. Když je dostatek solární energie pro ohřev vody, vodu ohřívá solární systém. Když není dostatek solární energie, vodu ohřívá náhradní zdroj tepla. Kvalitní regulace mají lepší způsob řízení pomocí kombinace termostatu blokujícího náhradní ohřev od teploty a časového katalogu, který blokuje náhradní ohřev v závislosti na čase. Princip je takový, že když dosáhne teplota na kolektorech alespoň o Δt °C vyšší hodnotu, než je aktuální teplota tepelného zásobníku, regulace spustí oběhové čerpadlo a voda v tepelném zásobníku

se začne ohřívat. Ohřívá se do okamžiku, než se teploty na kolektorech a v zásobníku vyrovnají. Celou tuto dobu je náhradní zdroj tepla odstavený. Pro maximální využití solární energie během dne lze náhradní zdroj tepla spínat až v odpoledních hodinách. Doba sepnutí náhradního zdroje se doporučuje v závislosti na výkonu tohoto zdroje. Další možnou regulací je regulace podle záření a rozdílu teplot, kdy do kolektoru je nainstalováno čidlo, které reaguje na dopadající solární záření na kolektor. Zvětší-li se hodnota záření na požadovanou hodnotu, sepne se oběhové čerpadlo solárního okruhu.

2.4.1.6 Solární čerpadlová skupina

Čerpadlová skupina zajišťuje přenos tepla ze solárních kolektorů do zásobníku. Jedná se o sdružení více komponentů, kde hlavní částí je oběhové čerpadlo a dále pak potřebné komponenty pro provoz, jako například průtokoměr, pojistný ventil, plnicí armatury, zpětná klapka, atd. Tyto skupiny jsou plně otestované a smontované, uzavřené v dvoudílném termoizolačním obalu, mají pevnou zadní desku umožňující rychlou montáž na stěnu nebo na solární zásobník. Jejich výhodou je tedy úspora místa, rychlá montáž a dobrá přehlednost celého systému. Do solární čerpadlové skupiny se také zapojuje solární expanzní nádoba. Na Obrázku 2.4.1-3 lze vidět čerpadlovou skupinu i její vnitřní složení.



Obrázek 2.4.1-3 Čerpadlová skupina [24]

2.4.1.7 Potrubí solárních soustav

Potrubní rozvody solárních soustav spojují kolektory se zásobníkem. Jejich základním požadavkem je životnost, jelikož musí odolávat vyšším teplotám, degradaci a atmosférickým vlivům. Rozvody a tepelnou izolaci je nutné správně nadimenzovat a optimalizovat pro danou aplikaci s ohledem na spotřebu elektrické energie pro pohon soustavy, tepelné ztráty a celkovou funkčnost systému. Potrubní rozvody také musí být odolné teplotně odolné kapalině a musí být přizpůsobeny tlakovým a teplotním poměrům v systému.

Plastová potrubí se využívají u nízkoteplotních solárních systémů s jednoduchými kolektory, většinou nezasklenými, pro ohřev bazénové vody v sezonním období, kdy teploty nepřekročí 80 °C. Pro potrubí používaná přímo v kolektorech se nejčastěji používají materiály na bázi EPDM, polyesteru nebo polypropylenu, které obsahují uhlíkové částice pro ochranu proti UV záření a pro dobrou pohltivost. Pro potrubní rozvody se používá běžný síťovaný polyetylen chráněný proti UV záření.

Kovová potrubí, většinou ocel nebo měď, se využívají u solárních systémů s pokročilými selektivními kolektory pro celoroční využití sluneční energie. Materiál pro potrubí primárního okruhu musí totiž vydržet vysoké teploty, které se pohybují okolo 180 °C v plochých atmosférických kolektorech se selektivní vrstvou, 250 °C v trubicových vakuových kolektorech a odolat tlakům do 1 MPa. Díky těmto podmínkám je vyloučeno použití plastových trubek kvůli vysokému teplotnímu a mechanickému namáhání. Nejčastěji používané měděné rozvody se spojují rychlým a jednoduchým měkkým kapilárním pájením při teplotě 270 °C u plochých kolektorů a tvrdým pájením při teplotě 600 – 800 °C u vysokoteplotních trubicových kolektorů.

Při návrhu potrubí je nutné brát ohled i na jeho tepelnou roztažnost a zohlednit délkovou dilataci správným vedením potrubí a umístěním pevných bodů. Také je nutné řídit se způsobem provozu solárního systému daným hodnotou měrného průtoku kolektorovým polem, kde lze rozdělit systémy na systémy s nízkým průtokem Low-flow a s vysokým průtokem High-flow.

Dalším kritériem při dimenzování potrubí je viskozita teplotnosné kapaliny, na které závisí tlakové ztráty třením a může tím tak ovlivnit hydrauliku systému. Celkovou tlakovou ztrátu může také významně ovlivnit špatný návrh světlosti potrubí.

Tepelná izolace je s potrubním rozvodem úzce spojena, protože zabraňuje tepelným ztrátám potrubí, které by snižovaly celkovou účinnost celého systému. U nízkoteplotních sezónně provozovaných systémů pro ohřev bazénové vody se v praxi většinou tepelná izolace nepoužívá, jelikož systém dobře funguje i bez ní. V celoročně provozovaných solárních systémech pro ohřev užitkové vody a případně přitápění je nutná instalace tepelné izolace na potrubí pro co největší snížení tepelných ztrát. Tepelnou izolací se musí opatřit celý potrubní rozvod a ta by měla být odolná vůči teplotám do 180 °C. U venkovních rozvodů musí být tepelná izolace odolná proti vlhkosti a UV záření.

Nejpoužívanější materiály pro tepelné izolace jsou na bázi EPDM s uzavřenou strukturou, například minerální vlna kaširovaná hliníkovou sítovou folií a v případě venkovní izolace je vlna opláštěna hliníkovým plechem kvůli ochraně před vlhkostí a poškozením způsobeným ptáky nebo hlodavci. Tloušťku tepelné izolace stanovuje vyhláška. Ta určuje tři kritéria pro stanovení požadované tloušťky tepelné izolace pro rozvody teplotnosné kapaliny v systémech pro ohřev užitkové vody a přitápění. První kritérium je mezní součinitel prostupu tepla z teplotnosné kapaliny izolací potrubí do okolí. Druhé kritérium uvádí, že tloušťka izolace by měla být stejná jako světlost potrubí. Třetí kritérium je optimalizovaný výpočet hospodárné tloušťky izolace, který je spojený s určením ceny solárního tepla. Na Obrázku 2.4.1-4 lze vidět různé typy izolací.



Obrázek 2.4.1-4 Tepelná izolace potrubních rozvodů [25]

2.4.1.8 Solární teponosná kapalina

V jednoduchých solárních systémech provozovaných jen v letním období, lze jako teponosnou kapalinu použít samotnou vodu. Voda má totiž dobrou tepelnou kapacitu, nízkou viskozitu a je nehořlavá a netoxická. Hlavní příčinou, proč ji ale nelze použít jako teponosnou kapalinu ve všech systémech, je ta, že při teplotách $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ dojde k jejímu zamrznutí. Proto se v celoročně provozovaných solárních systémech používají nemrzoucí směsi kvůli ochraně celé soustavy v zimním období před zamrznutím. Většina těchto nemrzoucích kapalin se skládá z vodní směsi (mono)propylenglykolu, která je na rozdíl od dříve používaných směsí etylenglykolu nejedovatá.

Zpravidla se používají v objemovém ředění 40 – 50% propylenglykolu podle požadované teploty tuhnutí, kde jsou dnes k dispozici klasicky inhibované směsi pro použití v plochých kolektorech a pokročilé směsi s kapalnými inhibitory pro použití v trubkových kolektorech. Tyto kapaliny mají oproti vodě používané v běžných topných soustavách jiné termofyzikální vlastnosti, které je nutné znát pro stanovení tlakových ztrát v potrubí, návrhu expanzních nádob, předávaného výkonu solární soustavy atd. Současné teponosné kapaliny směsi propylenglykolu v sobě obsahují rozpuštěné inhibitory koroze, které vytvořením tenké ochranné vrstvy na povrchu kovu umožňují zamezit degradaci potrubního materiálu. V současné době není k dispozici univerzální inhibitor, který by dokázal ochránit všechny konstrukční materiály, které se u solárních systémů používají a tak se v praxi provádí kombinace několika různých organických a anorganických inhibitorů s ochranným potenciálem pro daný kov.

Navíc pro zajištění ochrany proti korozi je nutné udržet pH kapaliny nad hodnotou 7, pro potrubní rozvody používat materiály s nízkým vzájemným elektrochemickým potenciálem a také odstranit z kapaliny veškeré plyny, tzn. systém odvodu. U teponosné kapaliny v letním období může dojít k degradaci kvůli přehřívání v kolektorech, ve kterých dochází vlivem nadměrného tepelného zatížení k rozkladu. Při oxidačních reakcích se tvoří kyseliny a při opakovaném přehřívání dojde k poklesu pH teponosné kapaliny z původní hodnoty kolem 8 až pod hodnotu 7. Při mezní hodnotě pH 6,8 dojde i ke změně barvy kapaliny, kdy začne kapalina tmavnout. Z těchto důvodů se doporučuje teponosnou kapalinu měnit dle pokynů výrobce, aby nedošlo ke snížení účinnosti systému nebo k jeho poškození.

3 Možnosti použití fotovoltaického systému pro ohřev TUV

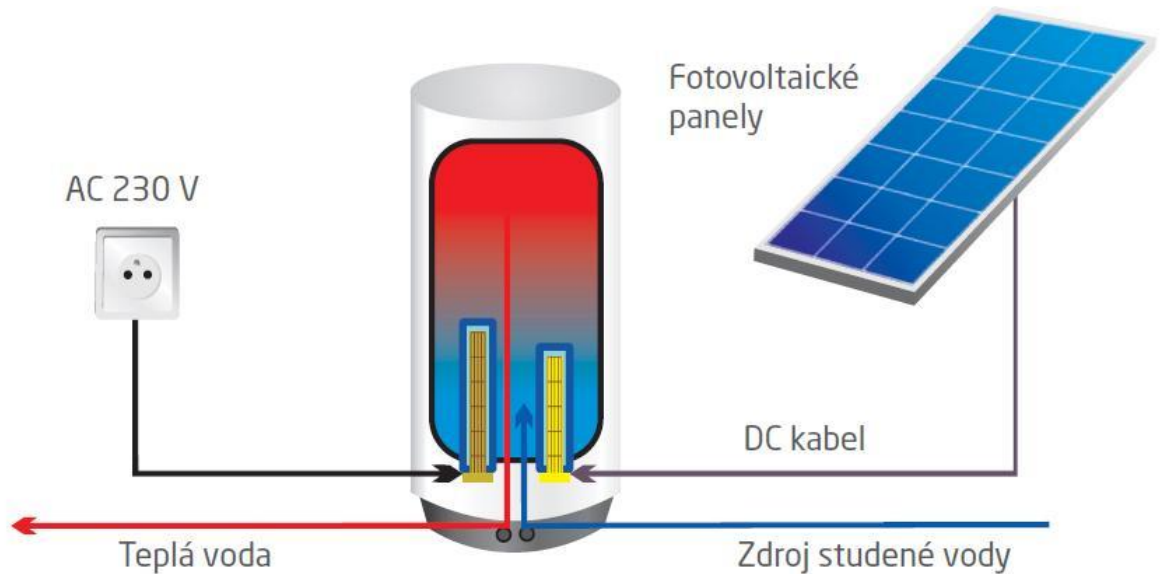
Díky klesajícím cenám fotovoltaických panelů a zastavení provozní podpory se čím dál tím více začíná rozšiřovat používání těchto systémů právě k ohřevu užitkové vody, což bylo doposud prováděno výhradně termickými kolektory.

3.1 Princip fotovoltaického systému pro ohřev užitkové vody

Dopadající sluneční záření je pomocí fotovoltaických panelů přeměněno na energii elektrickou, která je rovnou vedena do tepelného zásobníku, kde se topným tělesem přemění na teplo a ohřívá užitkovou vodu. Základním prvkem fotovoltaického systému pro ohřev užitkové vody je kombinovaný ohřívač, který je osazen dvěma topnými tělesy. Jedno topné těleso je napájeno DC proudem z fotovoltaických panelů o odpovídajícím počtu. Druhé topné těleso je napájeno AC proudem o napětí 230 V z rozvodné sítě přes HDO, takže je při vytápění využito elektřiny o snížené sazbě.

Tyto ohřívače vody s kombinovaným ohřevem pomocí AC a DC proudu je možné použít na ohřev vody pomocí AC proudu z rozvodné sítě nebo současně pomocí AC proudu z rozvodné sítě a DC proudu z fotovoltaických panelů. Zde je možné provádět různé kombinace nastavení teplot pomocí dvou samostatných termostatů. K ohřevu vody je také možné využít jen DC proud ze solárních panelů, přičemž ale tato varianta je vhodná pouze na předehřev vody vzhledem k různé intenzitě slunečního záření. Pomocí termostatu T1 se nastaví teplota topného tělesa vyhřívaného stabilním střídavým zdrojem ze sítě, které permanentně ohřívá vodu na požadovanou teplotu. Většinou se v praxi doporučuje tuto teplotu nastavit na 40 °C, což je teplota vody, která se už dá v domácnosti využít. Po dosažení této přednastavené teploty vypne termostat T1 topné těleso a přestane tak odebírat AC proud z rozvodné sítě. DC proud z fotovoltaických panelů pak sám dále ohřívá vodu druhým topným tělesem na nastavenou teplotu termostatem T2, kde teplota může dosáhnout 60 – 70 °C. Pokud dojde k poklesu teploty vody pod 40 °C a je dostatek slunečního záření, jsou sepnuty obě topná tělesa a vodu v zásobníku ohřívají velmi rychle a efektivně. V zimním období se doporučuje teplota termostatu T1 zvýšit z důvodu nízké intenzity slunečního záření.

Fotovoltaický systém pro ohřev užitkové vody se skládá z fotovoltaických panelů, kotvicí konstrukce panelů, kabeláže pro propojení panelů s tepelným zásobníkem, ochranných prvků jako je přepěťová ochrana a jištění, dále z tepelného zásobníku, termostatického směšovacího ventilu a drobného instalačního materiálu jako jsou hmoždinky, lišty atd. Na Obrázku 3.1-1 lze vidět zjednodušený fotovoltaický systém pro ohřev užitkové vody.



Obrázek 3.1-1 Fotovoltaický systém pro ohřev užitkové vody [26]

3.2 Způsoby provozu fotovoltaického ohřevu užitkové vody

V praxi se nejčastěji používají dva způsoby provozu těchto systémů:

3.2.1 Fotovoltaický ohřev užitkové vody se sledovačem maximálního výkonu

Sledovač bodu maximálního výkonu Maximum Power Point Tracker je zařízení, které zajišťuje, aby fotovoltaický panel pracoval stále co nejbližší svému bodu maximálního výkonu, čímž zvyšuje výnos energie ze systému. Tento sledovač je u fotovoltaických elektráren obvykle součástí střídače nebo regulátoru nabíjení. V případě fotovoltaického ohřevu je používán samostatně.

Sledovač maximálního výkonu udržuje výrobu elektrické energie z fotovoltaických panelů na maximální produkci během proměnlivých klimatických podmínek. Největší vliv má teplota fotovoltaických článků, která ovlivňuje napětí na panelech a sluneční záření, které ovlivňuje generovaný elektrický proud. Rozdíl mezi produkcí fotovoltaického systému se sledovačem maximálního výkonu a bez něj je značný. Vlivem proměnlivosti teploty fotovoltaických panelů a proměnlivosti slunečního záření dosahuje rozdíl v produkci elektrické energie až 40 %. Z čehož lze soudit, že systémy bez sledovače maximálního výkonu jsou dosti neúčinné.

3.2.2 Fotovoltaický ohřev užitkové vody bez sledovače maximálního výkonu

U systémů, které nepoužívají sledovač maximálního výkonu, je napětí na fotovoltaických panelech závislé na generovaném proudu a zátěži, kterou je odpor topného tělesa. Při provozu s neřízenou zátěží se fotovoltaický panel dostává mimo optimální bod výkonového maxima a proto je celková produkce elektrické energie nižší, než při použití sledovače maximálního výkonu.

3.3 Technické parametry

Plošná hmotnost - u fotovoltaických panelů je určena především tloušťkou zakrývacího skla a použitou technologií zapouzdření. U panelů, které mají zadní stranu krytou plastovými fóliemi (sklo-plast) se plošná hmotnost pohybuje kolem 10 kg/m^2 . U panelů, které jsou oboustranně kryté sklem (sklo-sklo, double-glass) se hmotnost pohybuje kolem 20 kg/m^2 . U solárních termických kolektorů se včetně teplonosné kapaliny pohybuje plošná hmotnost obvykle v rozmezí $16 - 22 \text{ kg/m}^2$, jen výjimečně přes 25 kg/m^2 . Nižší hmotnost mohou mít vakuové trubkové kolektory. Zatížení střešní konstrukce solárními tepelnými kolektory je tedy v podstatě srovnatelné s fotovoltaickými panely.

Nominální výkon – také nazýván výkon za standardních testovacích podmínek se u fotovoltaických panelů měří při teplotě panelu $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a intenzitě slunečního záření 1000 W/m^2 . Výkon ovlivňuje technologie výroby polovodičových článků a pohybuje se v širokém rozmezí. U panelů z krystalického křemíku se výkon vztažený na celou plochu panelu včetně rámu pohybuje mezi $120 - 170\text{ W/m}^2$ a u špičkových panelů se blíží až ke 200 W/m^2 . Nominální výkon solárních termických kolektorů za standardních podmínek se zjišťuje při intenzitě záření 1000 W/m^2 a při nulovém rozdílu mezi teplotou okolí a teplotou absorberu. U plochých kolektorů se používají téměř výhradně absorbery se selektivním povrchem. Nominální výkon se pohybuje v rozmezí $650 - 750\text{ W/m}^2$. Ovšem skutečný výkon panelu nebo kolektoru v reálných klimatických podmínkách je obvykle výrazně nižší, protože intenzita slunečního záření dosahuje úrovně 1000 W/m^2 jen zcela výjimečně. Navíc výkon je ovlivněn jiným než kolmým úhlem dopadu a také teplotou okolí, respektive teplotou teplonosné kapaliny.

Účinnost – při standardních testovacích podmínkách se účinnost fotovoltaických panelů pohybuje okolo 5% u tenkovrstvých panelů a u nejlepších monokrystalických panelů dosáhne až ke 20% . Přitom účinnost nezávisí na teplotě ohřivaného média, jak je tomu u termických systémů, což je velká výhoda. Účinnost termických kolektorů závisí na teplotním rozdílu mezi okolím a teplonosnou kapalinou, a proto účinnost při nízkých teplotách vzduchu klesá na rozdíl od fotovoltaických panelů. Při teplotách vzduchu pod bodem mrazu už kolektory nejsou schopny ohřát teplonosnou kapalinu ani na $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Naopak v letním období je účinnost solárních termických kolektorů až několikanásobně vyšší, než je účinnost fotovoltaických panelů a kolektory jsou schopny ohřát vodu až na $50 - 60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Za výše uvedených podmínek je účinnost krystalických panelů v letním období asi o 10% nižší než při standardních testovacích podmínkách, ale v zimě je naopak o 10% vyšší. Z těchto vlastností lze vidět, že teplota okolí má významnější vliv na solární termické kolektory. Z hlediska účinnosti jsou tedy v letním období výhodnější solární termické kolektory a naopak v zimním období je účinnost termických kolektorů nižší. Proto jsou výhodnější fotovoltaické panely. Účinnost obou systémů může také ovlivnit rychlost větru. U fotovoltaických panelů se účinnost snižuje při vyšších teplotách. Intenzivní ofukování vede ke snížení teploty panelů a tím i k růstu účinnosti. Naopak u solárních termických kolektorů dojde při vyšší rychlosti větru ke snížení teploty povrchu kolektorů, což vede k vyšším ztrátám a tím i k poklesu účinnosti. Tato vlastnost se pak ještě více projevuje při nižších intenzitách záření a zejména při nižších teplotách, kdy účinnost kolektorů je už tak nižší.

Roční výnos energie – roční výnos energie závisí na průměrné roční účinnosti konverze slunečního záření na užitečnou energii a na množství dopadajícího slunečního záření. Fotovoltaické panely v závislosti na typu vyrobí 50 – 200 kWh/m² ročně. Na roční výnos energie nemá nijak podstatný vliv sklon panelů a orientace, kde je celoroční výroba elektřiny maximálně o 5 % nižší. Výnos mohou výrazněji snižovat například blízká budova nebo strom, který panelům stíní. U solárních termických kolektorů závisí výnos na solárním pokrytí, tedy na podílu energie ze solárního systému k celkové spotřebě energie na ohřev vody a činí tak kolem 400 kWh/m² ročně.

Životnost – životnost u fotovoltaických panelů se odhaduje na 30 – 40 let. Pokud jsou panely kryté sklem z obou stran, životnost se tak může ještě více prodloužit, mnohdy i na 50 let. Účinnost panelů časem klesá, výrobci garantují maximální pokles účinnosti o 10 % po 10 – 12 letech provozu a 20 % po 25 letech provozu. V praxi byl naměřen pokles účinnosti u nejstarších fotovoltaických elektráren, které jsou v provozu 30 let, kolem 6 – 8 %, nejčastěji se u těchto elektráren jednalo o instalace článků z monokrystalického křemíku. Životnost fotovoltaického systému ovlivňují i jiné části systému než jen panely. Například kombinované ohříváky mají mnohem kratší životnost než panely a mohou tak celkovou životnost systému zkrátit. U solárních tepelných kolektorů se udává životnost 30 let, v provozu existují ale i mnohem starší systémy. U kvalitně provedených kolektorů nedochází k degradaci absorpční vrstvy a pokud ano, je zanedbatelná. U fotovoltaických panelů tomu tak není a dochází k degradaci funkční vrstvy a laminační fólie. Životnost solárních tepelných kolektorů také ovlivňují i jiné části systému než jen kolektory. Například oběhové čerpadlo je nutné nahradit novým zhruba po 15 letech provozu, teplonosnou kapalinu pak v intervalu 5 – 10 let provozu.

3.4 Výhody fotovoltaického systému pro ohřev užitkové vody

Na rozdíl od systémů s tepelnými kolektory se fotovoltaické systémy vyznačují především jednoduchou instalací a provozem, protože u systémů s tepelnými kolektory je k provozu vyžadováno velké množství dalších částí a zařízení, jako například potrubní rozvody, oběhové čerpadlo, regulace, teplonosná kapalina a další. U fotovoltaických systémů jsou panely jednoduše propojeny s tepelným zásobníkem párem kabelů, které vedou elektrický proud do topné spirály. V té se proud promění v teplo a ohřívá vodu.

U fotovoltaických systémů nedochází téměř k žádným ztrátám při přenosu elektrické energie z panelů do zásobníku a ohřev topného tělesa pomocí přivedené energie probíhá s velmi vysokou účinností, kde navíc předání tepla z topného tělesa do vody je okamžité bez jakékoliv tepelné setrvačnosti, která je například u teplonosné kapaliny. Energie ze slunečního záření získaná s určitou účinností fotovoltaickými panely je tedy všechna beze ztrát využita na ohřev užitkové vody. Ve srovnání se systémy s tepelnými kolektory, které mají účinnost kolem 75 %, mají fotovoltaické systémy účinnost kolem 15 %, a proto potřebná plocha pro fotovoltaické panely musí být 3 – 4x větší než plocha pro solární kolektory. Na druhou stranu fotovoltaické panely jsou tenčí, naopak solární kolektory jsou vyšší.

Fotovoltaický systém lze použít v objektech, kde je tepelný zásobník ve velké vzdálenosti od střechy, protože v případě systému se solárními kolektory u větších vzdáleností mezi zdrojem tepla a tepelným zásobníkem vznikají velké tepelné ztráty v potrubí. Tyto ztráty snižují výkon systémů a navíc unikají do obytných částí domu a okolí, což je v letních měsících nežádoucí. Také kvůli velké vzdálenosti rostou investiční náklady na instalaci potrubí, izolací, kotvicích prvků atd. Dále rostou tlakové ztráty v rozvodech a je nutné použít výkonnější oběhové čerpadlo, což také zvýší investici. Systém bude také potřebovat větší množství teplonosné kapaliny, takže se zvýší náklady jak při pořízení, tak i při její výměně. Proto je vhodné při vzdálenosti kolektorů od zásobníku větší než 25 m zvolit instalaci fotovoltaického systému.

Fotovoltaické panely vyrábějí stejnosměrný proud, který se dá rovnou využít pro ohřev užitkové vody pomocí stejnosměrného topného tělesa. V tomto případě tedy odpadá nutnost použití střídače, který by proud převedl na stejnosměrný pro další použití v jiných domácích spotřebičích a nebo by byl dodán do distribuční sítě. Pořizovací ceny těchto střídačů se pohybují v řádech desetitisíců korun, a proto celkové náklady na fotovoltaický ohřev vody výrazně klesnou. Pokud není vyrobený proud z fotovoltaických panelů dodáván do sítě, je možné takový systém provozovat bez licence pro podnikání v energetice.

Fotovoltaický systém lze použít i za nízkých venkovních teplot nebo naopak při nahřátém zásobníku, kdy solární kolektory nepracují, protože účinnost fotovoltaických panelů s klesající teplotou roste. Nehrozí zde zamrznutí teplonosné kapaliny nebo naopak přehřátí kolektorů, protože pokud stoupne teplota v zásobníku příliš vysoko, lze fotovoltaické systémy jednoduše odpojit. Nedojde k žádnému úniku kapaliny ani k zavzdušnění systému.

3.5 Nevýhody fotovoltaického systému pro ohřev užitkové vody

Určitou nevýhodou u těchto systémů je potřeba výrazně větší plochy pro instalaci fotovoltaických panelů. Oproti termickým kolektorům při uvažování stejné celoroční energetické výtěžnosti vychází potřebná plocha panelů z krystalického křemíku asi trojnásobně větší. Potřebná plocha pro panely z amorfního křemíku může být až desetkrát větší. Toto může být omezení především pro stavby s malou plochou střechy nebo pro stavby s členitou střechou, kam by se jednoduše fotovoltaický systém nevešel.

Na rozdíl od solárních kolektorů fotovoltaické panely nemají možnost automatického zbavení se sněhu z plochy panelů. V případě úplného zakrytí panelů sněhem klesá totiž jejich výkon až k nulovým hodnotám. Na druhou stranu mají fotovoltaické panely hladký povrch a při obvyklé instalaci panelů pod správným úhlem po nich sníh sklouzne jakmile alespoň na chvíli vysvitne slunce. Fotovoltaické panely se totiž při slunečním záření mírně zahřívají a sníh se tak na hladké ploše neudrží. Pokud je ale slunečního svitu nedostatek, je třeba fotovoltaické panely omést, což v mnoha případech může být nemožné či nepraktické a pro samotného uživatele i nebezpečné.

Dalším problémem fotovoltaických systémů je bezpečnost, jelikož špatně zapojená nebo poškozená elektroinstalace může způsobit vznik požáru anebo úraz elektrickým proudem. Toto se u systémů se solárními kolektory stát nemůže, pomine-li se zapojení okruhu pro náhradní zdroj ohřevu. Navíc hašení fotovoltaických panelů je velmi problematické, jelikož v mnoha případech jsou panely neustále v provozu a samotný křemík při hoření je velice nebezpečný.

Nevýhodou může být částečné stínění například od stromů, sousedících budov, komínu, satelitu nebo panelů navzájem, na které jsou fotovoltaické panely oproti solárním kolektorům mnohem citlivější. Při zakrytí jen malé plochy panelu totiž dochází k podstatnému snížení výkonu celého panelu.

4 Návrh systému pro přípravu TUV s plochými solárními kolektory

4.1 Popis modelového objektu

Jako modelový objekt pro návrh systému pro přípravu teplé užitkové vody je zvolen vlastní rodinný dům. Objekt se nachází v obci Lhota vzdálené 6 km od města Plzně. Jedná se o starší stavbu z roku 1967, která byla využívána pouze k rekreačním účelům a poté byla přestavěna na rodinný dům, který má již dnešní podobu.

Část střechy je orientovaná na jih s azimutem 0° . Její sklon je 35° a tvar poskytuje plochu pro kolektory nebo fotovoltaické panely o velikosti 54 m^2 . Nízký komín se nalézá na vrcholu střechy, a tak nebude stínit ani omezovat prostor pro montáž systému, viz Obrázek 4.1-1.

Vytápění objektu je zajištěno tepelným čerpadlem vzduch/voda od firmy Vailant o tepelném výkonu 10,5 kW. Díky tomuto čerpadlu objekt odebírá proud na základě zlevněného tarifu od společnosti CENTROPOL ENERGY a.s. Tepelné čerpadlo bylo instalováno na podzim roku 2014, do té doby bylo vytápění objektu zajištěno kotlem na tuhá paliva, který slouží dodnes jako sekundární zdroj tepla při odstávce tepelného čerpadla.

Ohřev užitkové vody je zajištěn klasickým bojlerem od firmy Dražice typu OKCE 125. Tento ohřivač má objem 120 l, výkon topného tělesa je 2 kW, doporučená provozní teplota je 60°C , přičemž maximální je 80°C .



Obrázek 4.1-1 Modelový objekt – jižní strana

4.2 Výpočet spotřeby tepla pro ohřev vody

Pro výpočet spotřeby tepla je předpokládáno, že modelový objekt je obýván třemi lidmi. Z předchozích zkušeností je známo, že pro zajištění teplé užitkové vody rodině stačil zásobník TUV o objemu 125 l. Za celou dobu používání tohoto objemu totiž nedošlo k nedostatku teplé užitkové vody. V krajních případech došlo k poklesu teploty vody od požadované teploty maximálně o 10 °C, což nijak výrazně neomezovalo její další používání. V těchto případech se snížil komfort například při sprchování, což na jedné straně může být pro uživatele důvod pro zvýšení objemu zásobníku TUV při dimenzování. Naopak na straně druhé tento fakt může vést ke snížení spotřeby vody, jelikož uživatel stráví sprchováním poměrně kratší dobu a spotřebuje tak méně vody. Volba objemu zásobníku tedy závisí na uživateli, kdy je nutné rozmyslet si, jakým způsobem chce zásobník využívat. Pro omezení krajních případů poklesu teploty vody bude v systému použit zásobník o objemu 200 l. Spotřebu tepla vypočteme pomocí kalorimetrické rovnice 4.1:

$$Q_w = c_w \cdot V_w \cdot \rho_w \cdot (t_T - t_s) = 4182 \cdot 0,2 \cdot 993,96 \cdot (60 - 10) = 41,6 \text{ MJ/den} \quad (4.1)$$

kde:

Q_w – teplo, které je potřeba pro přípravu teplé vody [MJ]

c_w – měrná tepelná kapacita vody [4182 J·kg⁻¹·K⁻¹]

V_w – objem denní spotřebované vody [0,2 m³/den]

ρ_w – hustota vody při střední teplotě $t = 0,5 \cdot (t_T + t_s) = 35$ [°C]

t_T – teplota teplé vody, která se ohřívá v absorbéru a v praxi se požaduje $t_T = 60$ [°C]

t_s – teplota studené vody, která se přivádí do systému a má teplotu $t_s = 10$ [°C]

Teplo, které je denně potřeba pro ohřátí vody o objemu 200 l převedené na výkon podle vztahu 4.2:

$$P_p = \frac{41,6 \text{ MJ/den}}{3,6} = 11,6 \text{ kWh/den} \quad (4.2)$$

4.3 Výpočet potřebné plochy kolektorů

Pro výpočet potřebné plochy kolektorů je nutné nejdříve vypočítat účinnost kolektorů, pro kterou je nutné znát hodnoty teplot okolí a intenzity záření za určitou dobu, v tomto případě za jeden den. Dále je nutné znát množství dopadlé energie na plochu, v tomto případě za 1 měsíc. Tyto hodnoty jsou získané z programu PVGIS, který je volně dostupný na webových stránkách, viz Seznam literatury a informačních zdrojů [27]. Hodnoty venkovních teplot, intenzity záření a množství dopadlé energie na plochu v daném měsíci jsou uvedené v Tabulce 4.3-1. Navrhovaný systém pro ohřev užitkové vody se bude využívat sezónně, tedy v měsících od dubna do září, kdy jsou nejpříznivější sluneční podmínky pro využití systému. Potřebná plocha kolektorů se vypočítá pro měsíc, ve kterém je intenzita slunečního záření nejslabší, aby systém dokázal ohřát vodu i v těchto podmínkách na požadovanou teplotu a aby nebylo nutné použít náhradní zdroj tepla. Nejhorší sluneční podmínky jsou v měsíci září, proto se plocha kolektorů bude počítat právě s těmito hodnotami. Veškeré výpočty jsou provedeny pro předem vybraný typ kolektoru, přičemž pro tento systém byly zvoleny solární kolektory SUNTIME 2.1. Veškeré technické parametry kolektoru jsou uvedeny v Příloze 1.

Měsíc:	t [°C]	Q _s [kWh/m ²]	I [W/m ²]
Leden	0,1	1,06	91,4
Únor	1,3	1,99	156,6
Březen	6,0	3,60	231,5
Duben	12,0	4,88	319,4
Květen	16,6	5,10	364,9
Červen	19,8	5,34	374,7
Červenec	21,5	5,18	382,0
Srpen	21,0	4,87	355,5
Září	16,1	3,82	275,3
Říjen	10,6	2,55	206,5
Listopad	4,8	1,27	89,2
Prosinec	0,8	0,93	61,2

Tabulka 4.3-1 Hodnoty teplot a slunečního záření v daném měsíci [27]

4.3.1 Výpočet účinnosti kolektoru

Pro výpočet účinnosti se použije teoretický vzorec 4.3 pro kolektor s jedním krycím sklem:

$$\eta_{zaří} = \eta_0 - k_1 \cdot \frac{(t_T - t_{vz})}{I} - k_2 \cdot \frac{(t_T - t_{vz})^2}{I} \quad (4.3)$$

$$\eta_{zaří} = 0,78 - 2,495 \cdot \frac{(60 - 16,1)}{275,3} - 0,028 \cdot \frac{(60 - 16,1)^2}{275,3} = 0,187$$

kde:

η_0 – optická účinnost kolektoru, pro kolektor SUNTIME 2.1 $\eta_0 = 0,78$ [-]

k_1 – lineární ztrátový součinitel, pro kolektor SUNTIME 2.1 $k_1 = 2,495$ [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]

k_2 – kvadratický ztrátový součinitel, pro kolektor SUNTIME 2.1 $k_2 = 0,028$ [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]

t_T – střední teplota absorberu (teplonosné kapaliny) $t_T = 60$ [°C]

t_{vz} – teplota vzduchu, která je pro září $t_{vz} = 16,1$ [°C]

Pro výpočet průměrné účinnosti kolektoru v jednotlivých měsících se použijí hodnoty z Tabulky 4.3-1 a dosadí se do vzorce 4.3 pro výpočet účinnosti, viz vzorec výše. Je nutné vypočítat účinnost v každém měsíci zvlášť, protože se účinnost mění v závislosti na okolních teplotách. Účinnosti v jednotlivých měsících, ve kterých bude systém využíván, jsou uvedeny v Tabulce 4.3-2.

Účinnost kolektoru v jednotlivých měsících [-]					
Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září
0,202	0,339	0,392	0,420	0,387	0,187

Tabulka 4.3-2 Účinnost kolektoru v jednotlivých měsících

Je-li známa účinnost, lze jejím součinem s dopadající energií získat celkovou zachycenou energii solárním kolektorem během jednoho dne podle vztahu 4.4:

$$Q_{Aden} = \eta \cdot Q_s = 0,187 \cdot 3,82 \cdot 10^3 = 714,3 \text{ Wh/m}^2 \quad (4.4)$$

4.3.2 Výpočet potřebné plochy a počtu kolektorů

Je-li známa celková zachycená energie solárním kolektorem během dne, je možné stanovit potřebnou plochu kolektorů podle vztahu 4.5:

$$S = \frac{Q_w}{Q_{Aden}} = \frac{11,6 \cdot 10^3}{714,3} = 16,2 \text{ m}^2 \quad (4.5)$$

$$\text{počet kolektorů} = \frac{\text{potřebná plocha kolektorů}}{\text{plocha jednoho kolektoru}} = \frac{16,2}{1,82} = 9 \text{ kolektorů} \quad (4.6)$$

Výpočet 4.5 udává, jak velká musí být potřebná plocha kolektorů a jaký musí být celkový potřebný počet kolektorů viz vztah 4.6, aby systém dokázal ohřát vodu na požadovanou teplotu i v měsíci září. Velikost potřebných ploch kolektorů a potřebný počet kolektorů pro ostatní měsíce jsou uvedeny v Tabulce 4.3-3. U těchto hodnot si lze všimnout, že například v měsíci květnu je potřebná plocha kolektorů více než o polovinu menší než v měsíci září, přičemž systém také dokáže ohřát vodu na požadovanou teplotu.

Měsíc:	Potřebná plocha S [m ²]	Počet kolektorů [Ks]
Duben	11,77	6
Květen	6,71	4
Červen	5,54	3
Červenec	5,33	3
Srpen	6,15	3
Září	16,24	9

Tabulka 4.3-3 Potřebná plocha kolektorů a potřebný počet kolektorů

4.4 Energetická bilance pro systém s kolektorovou plochou 16,2 m²

Stanovením energetické bilance se získá porovnání mezi spotřebou energií pro ohřev vody a energií, kterou zachytí kolektory. Díky tomu lze zjistit, kolik energie se získá ze slunečního záření a kolik energie je případně nutné dodat z jiného tepelného zdroje. Díky energii zachycené kolektorem $Q_{A\text{den}}$ a známé potřebné ploše kolektorů lze vypočítat celkovou zachycenou energii systémem za den viz vztah 4.7 a pak dále se z této hodnoty vypočítá celková zachycená energie systémem $Q_{Z\text{měsíc}}$ za celý měsíc viz vztah 4.8. Celková zachycená energie systémem za měsíc je pak porovnána se spotřebou energie viz vztah 4.9. Následující výpočet je proveden pro měsíc září a nejsou zde započítány ztráty v systému. Pro přehlednost jsou všechny vypočtené hodnoty uvedené v Tabulce 4.4-1.

$$Q_{Z\text{den}} = S \cdot Q_{A\text{den}} = 16,2 \cdot 714,3 = 11,6 \text{ kWh} \quad (4.7)$$

$$Q_{Z\text{měsíc}} = n \cdot Q_{Z\text{den}} = 30 \cdot 11,6 = 348 \text{ kWh} \quad (4.8)$$

$$\Delta R = Q_{Z\text{měsíc}} - (n \cdot Q_w) = 348 - (30 \cdot 11,6) = 0 \text{ kWh} \quad (4.9)$$

kde:

$Q_{A\text{den}}$ – celková zachycená energie za den jedním kolektorem [Wh/m²]

S – potřebná plocha kolektorů [m²]

$Q_{Z\text{den}}$ – celková zachycená energie za den celým systémem [kWh]

$Q_{Z\text{měsíc}}$ – celková zachycená energie za měsíc celým systémem [kWh]

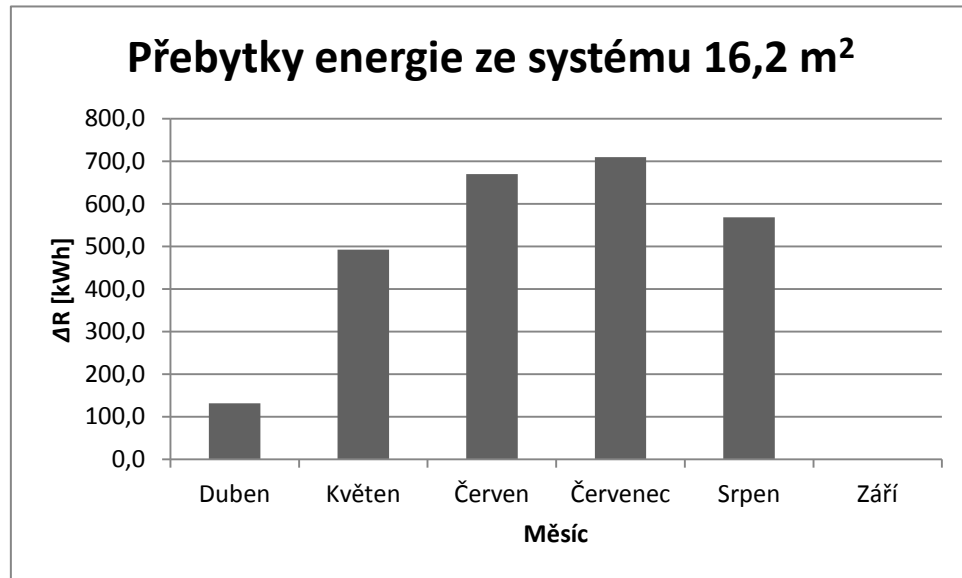
n – počet dnů v měsíci [-]

ΔR – rozdíl potřebné energie a celkové zachycené energie [kWh]

Tabulka vypočtených hodnot					
Měsíc	η	$Q_{A\text{den}}$ [Wh/m ²]	$Q_{Z\text{den}}$ [kWh]	$Q_{Z\text{měsíc}}$ [kWh]	R [kWh]
Duben	0,202	985,8	16,0	479,1	131,1
Květen	0,339	1728,9	28,0	840,2	492,2
Červen	0,392	2093,3	33,9	1017,3	669,3
Červenec	0,42	2175,6	35,2	1057,3	709,3
Srpen	0,387	1884,7	30,5	916,0	568,0
Září	0,187	714,3	11,6	348,0	0,0

Tabulka 4.4-1 Vypočtené hodnoty energetické bilance

Jak ukazují hodnoty v Tabulce 4.4-1, tento systém bude schopný sám pokrýt přípravu teplé vody v měsících od dubna do září, kdy nebude nutné použití náhradního ohřevu. Tento systém navíc vyprodukuje přebytky energie, které lze vidět v Grafu 4.4-1.



Graf 4.4-1 Přebytky energie ze systému

Tyto přebytky energie vyprodukované systémem v jednotlivých měsících lze dokázat i výpočtem výsledné teploty vody. Pro výpočet je nutné znát účinnost kolektoru v daný čas. Účinnost se vypočítá pro každou hodinu zvlášť, protože se mění v průběhu dne v závislosti na okolních teplotách. Vypočítá se pomocí již jednou použitého vztahu 4.3 pro účinnost kolektoru. Dále jsou pro výpočet celkové teploty potřebné hodnoty, kterými jsou teplota okolí a intenzita záření pro daný čas, získané z programu PVGIS. Výpočet se provede podle vztahu 4.10:

$$\Delta t = \frac{I \cdot S \cdot \eta \cdot \tau}{c_p \cdot m} = \frac{398 \cdot 16,2 \cdot 0,379 \cdot 3600}{4183 \cdot 200} = 10,5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.10)$$

kde:

I – intenzita záření [W/m^2]

S – plocha kolektorů [m^2]

η – účinnost kolektoru [-]

τ – doba ohřevu [s]

c_p – měrná tepelná kapacita vody [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

m – množství ohříváné vody [l]

V Tabulce 4.4-2 jsou uvedeny hodnoty intenzity slunečního záření a teploty okolí v daný čas pro průměrný den v měsíci září. Také jsou zde vypočteny hodnoty účinnosti kolektoru a teplota ohřáté vody v daný čas a celková teplota ohřáté vody systémem za celý den.

Září				
Čas	I [W/m ²]	t_{vz} [°C]	η [-]	Δt [°C]
6:00	15	11,4	0	
7:00	101	12,9	0	
8:00	212	14,6	0	
9:00	316	16,1	0,263	5,8
10:00	398	16,9	0,379	10,5
11:00	452	17,4	0,432	13,6
12:00	472	17,7	0,450	14,8
13:00	460	17,7	0,442	14,2
14:00	415	18	0,408	11,8
15:00	339	18,2	0,328	7,8
16:00	239	17,8	0,131	2,2
17:00	128	16,8	0	
18:00	32	14,2	0	
Výsledná teplota:				90,7

Tabulka 4.4-2 Vypočítané hodnoty pro měsíc Září

Z důvodu nízké intenzity slunečního záření v ranních a večerních hodinách je účinnost kolektoru v tuto dobu nulová. Tento solární systém, který má plochu kolektorů 16,2 m², bude v měsíci září ohřívat vodu od 9:00 do 16:00 a dosáhne výsledné teploty ohřáté vody 90,7 °C. Je tedy schopný dosáhnout požadované teploty i v měsíci s nejhoršími slunečními podmínkami, aniž by se musel použít pro ohřev vody náhradní zdroj tepla. To může být na jednu stranu velká výhoda, protože systém bude pracovat bez sekundárního ohřevu vody po celou dobu, pro kterou byl navržen, což je výhodné i z ekonomického pohledu. Na druhou stranu, jako již bylo zmíněno výše, systém má velké přebytky tepla. Pokud tento navržený systém ohřeje vodu na 90,7 °C v měsíci s nejhoršími slunečními podmínkami, je velice pravděpodobné, že v ostatních měsících s dostatečným solárním ziskem budou tyto výsledné teploty ohřáté vody ještě vyšší.

Z tohoto důvodu byly provedeny kontrolní výpočty i pro měsíce s dostatečným solárním ziskem. Hodnoty pro měsíc duben a červenec, ve kterém je intenzita slunečního záření a teplota okolí nejvyšší, lze nalézt v Tabulce 4.4-3. Veškeré hodnoty pro zbylé měsíce jsou pak uvedeny v Příloze 2.

Duben					Červenec			
Čas	I [W/m ²]	t_{vz} [°C]	η [-]	Δt [°C]	I [W/m ²]	t_{vz} [°C]	η [-]	Δt [°C]
6:00	53	7	0		110	17,4	0	
7:00	154	8,7	0		218	19	0,095	1,4
8:00	265	10,5	0,055	1,0	329	20,4	0,346	7,9
9:00	364	12	0,274	6,9	427	21,5	0,458	13,6
10:00	440	12,9	0,372	11,4	503	22,1	0,512	18,0
11:00	488	13,4	0,417	14,2	551	22,4	0,538	20,7
12:00	506	13,7	0,433	15,3	569	22,5	0,546	21,7
13:00	495	14,1	0,429	14,8	558	22,8	0,544	21,2
14:00	454	14,3	0,400	12,7	517	23,1	0,528	19,0
15:00	385	14	0,328	8,8	448	23,1	0,489	15,3
16:00	291	13	0,164	3,3	355	22,7	0,408	10,1
17:00	182	11,6	0		246	21,9	0,228	3,9
18:00	75	10,2	0		135	20,8	0	
Výsledná teplota:				98,5	Výsledná teplota:			100

Tabulka 4.4-3 Vypočítané hodnoty pro měsíc duben a červenec

Účinnost kolektoru v dubnu a červenci je v ranních a večerních hodinách opět nulová, a to z důvodu nízké intenzity slunečního záření stejně jako v měsíci září. Navíc v dubnu je nulová účinnost způsobena i nízkou teplotou okolí. Navržený solární systém ale v letních měsících ohřívá vodu delší dobu, oproti září začíná ohřev vody o hodinu dříve, tedy v 8:00 a v červenci začíná ohřev vody už od 7:00. Ohřev pak i déle končí, například v červenci až v 17:00. Po tuto dobu je voda ohřívána i s vyšší účinností, a proto dochází k vyšším výsledným teplotám vody. V dubnu tento navržený systém ohřeje vodu během dne na 98,5 °C. V červenci pak plocha kolektorů zachytí 35,2 kWh, což může způsobit potíže. Jelikož k ohřátí 200 l vody na teplotu 100 °C je potřeba 20,6 kWh energie, systém dosáhne této teploty a zbylých 14,6 kWh bude spotřebováno ke skupenské přeměně vody na páru, přičemž teplota vody se v tuto dobu již nemění. Pro přeměnu veškeré vody v páru by bylo potřeba 146,5 kWh energie. Takových hodnot ale navržený systém nikdy nedosáhne. Teplota užitkové vody 100 °C je pro domácnost nevyužitelná a pro uživatele i nebezpečná. Je také i nepřijatelná pro provoz systému, protože použité kolektory SUNTIME 2.1 mají výrobcem

doporučenou pracovní teplotu do 100 °C. V měsíci červnu a červenci při takto vysokých výkonech kolektorů spojených s menším odběrem užitkové vody by mohlo dojít k přehřátí systému a následné stagnaci. Kvůli vysokým teplotám zvětšuje solární kapalina svůj objem, který by v krajním případě způsobil otevření přetlakového ventilu a následné zavzdušnění systému a úniku teplotosné kapaliny.

Z těchto výše uvedených informací a na základě vypočtených hodnot v Tabulkách 4.4-1, 4.4-2, 4.4-3 a Grafu 4.4-1 lze říci, že navržený solární systém je nevhodný a nepoužitelný. Zejména velikost navržené potřebné plochy kolektorů je příliš velká. Při této velikosti systému by sice kolektory v září a dubnu ohřály vodu na požadovanou teplotu i bez použití náhradního zdroje tepla, ale v ostatních měsících by docházelo k jejich přehřívání. Byla by zde možnost odstavení systému z provozu v kritických hodinách, aby nedocházelo k ohřevu vody na tak vysokou teplotu, ale tento případ je uživatelsky velmi náročný. Kolektory by se musely před slunečním zářením zakrývat, což je fyzicky, časově i uživatelsky nepřijatelné. V měsících s nízkou intenzitou slunečního záření, jako například v březnu a říjnu, lze tento systém využít pro předehřev vody. Výsledné teploty ohřáté vody pro tyto měsíce jsou v tabulkách v Příloze 2.

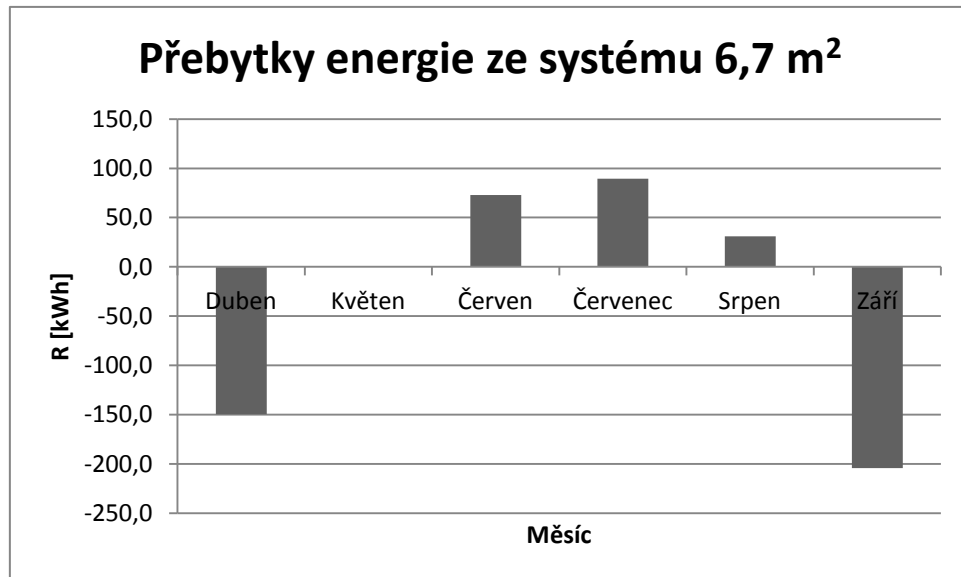
4.5 Energetická bilance pro systém s kolektorovou plochou 6,7 m²

Kvůli nevýhodám předchozího systému se nyní kolektorová plocha zmenší na 6,7 m², což odpovídá 4 kusům kolektorů, viz Tabulka 4.3-3. Stanovení energetické bilance se provede stejným způsobem jako u systému s kolektorovou plochou 16,2 m², podle vztahů 4.7, 4.8, 4.9. Všechny vypočtené hodnoty jsou uvedené v Tabulce 4.5-1.

Tabulka vypočtených hodnot					
Měsíc	η	$Q_{A\text{den}} [\text{Wh/m}^2]$	$Q_{Z\text{den}} [\text{kWh}]$	$Q_{Z\text{měsíc}} [\text{kWh}]$	$R [\text{kWh}]$
Duben	0,202	985,8	6,6	198,1	-149,9
Květen	0,339	1728,9	11,6	348,0	0,0
Červen	0,392	2093,3	14,0	420,7	72,7
Červenec	0,42	2175,6	14,6	437,3	89,3
Srpen	0,387	1884,7	12,6	378,8	30,8
Září	0,187	714,3	4,8	143,6	-204,4

Tabulka 4.5-1 Vypočtené hodnoty energetické bilance

Jak ukazují hodnoty v Tabulce 4.5-1, tento systém bude schopný sám pokrýt přípravu teplé vody v měsících od května do srpna, ve kterých nebude nutné použití náhradního ohřevu. V dubnu a září již systém neprodukuje přebytky energie a bude patrně nutné použít náhradní zdroj ohřevu. Tento systém vyprodukuje výrazně menší přebytky energie, které lze vidět v Grafu 4.5-1, než předchozí systém s plochou 16,2 m².



Graf 4.5-1 Přebytky energie ze systému

Tyto výrazně menší přebytky energie vyprodukované systémem v jednotlivých měsících lze dokázat výslednou nižší teplotou ohřáté vody, viz Tabulka 4.5-2.

Květen				
Čas	I [W/m ²]	t_{vz} [°C]	η [-]	Δt [°C]
8:00	313	15,6	0,250	2,3
9:00	409	16,7	0,388	4,6
10:00	483	17,3	0,454	6,3
11:00	530	17,6	0,485	7,4
12:00	548	17,8	0,497	7,9
13:00	537	18,1	0,494	7,6
14:00	497	18,3	0,473	6,8
15:00	430	18,2	0,424	5,3
16:00	339	17,6	0,319	3,1
17:00	232	16,7	0,088	0,6
Výsledná teplota:				61,8

Tabulka 4.5-2 Vypočítané hodnoty pro měsíc květen

Z důvodu nízké intenzity slunečního záření v ranních a večerních hodinách je účinnost kolektoru v tuto dobu opět nulová a systém s kolektorovou plochou 6,7 m² bude v měsíci květnu ohřívat vodu od 8:00 do 17:00, přičemž dosáhne výsledné teploty ohřáté vody 61,8 °C. Systém je tedy schopný dosáhnout požadované teploty v měsících s dostatečným slunečním ziskem, aniž by se musel použít pro ohřev vody náhradní zdroj ohřevu. V měsících s nižší intenzitou solárního záření, jako je duben a září, již bude nutné použít náhradní zdroj ohřevu. Pro ověření, zda systém dokáže ohřát vodu na požadovanou teplotu po celou dobu jeho využívání, byly provedeny kontrolní výpočty i pro ostatní měsíce. Hodnoty pro měsíc červenec, ve kterém je intenzita slunečního záření a teplota okolí nejvyšší, lze nalézt v Tabulce 4.5-3. Hodnoty pro měsíce duben a září, ve kterých je intenzita slunečního záření a teplota okolí nejnižší, lze nalézt v Tabulce 4.5-4. Veškeré hodnoty pro zbylé měsíce jsou pak uvedeny v Příloze 3.

Červenec				
Čas	I [W/m ²]	t_{vz} [°C]	η [-]	Δt [°C]
6:00	110	17,4	0	
7:00	218	19	0,095	0,6
8:00	329	20,4	0,346	3,3
9:00	427	21,5	0,458	5,6
10:00	503	22,1	0,512	7,4
11:00	551	22,4	0,538	8,5
12:00	569	22,5	0,546	9,0
13:00	558	22,8	0,544	8,8
14:00	517	23,1	0,528	7,9
15:00	448	23,1	0,489	6,3
16:00	355	22,7	0,408	4,2
17:00	246	21,9	0,228	1,6
18:00	135	20,8	0	
Výsledná teplota:				73,2

Tabulka 4.5-3 Vypočítané hodnoty pro měsíc červenec

Navržený solární systém s plochou kolektorů 6,7 m² dosáhne výrazně menší výsledné teploty v červenci, tedy v měsíci s největším solárním ziskem, než předchozí systém s plochou kolektorů 16,2 m² při stejných podmínkách. Jistou nevýhodou se může jevit nízká výsledná teplota vody v dubnu a září, tedy v měsících, ve kterých předchozí systém vodu bez problémů ohříval na vysokou teplotu.

V těchto měsících se teplota ohřáté vody pohybuje kolem 45 °C, viz Tabulka 4.5-4. Ve většině případů by bylo již nutné použít náhradní ohřev vody, ale je zde varianta, že se uživatel spokojí s nižší teplotou ohřáté vody a systém bude využívat i v těchto měsících bez dalšího dohřevu.

Duben					Září			
Čas	I [W/m ²]	t_{vz} [°C]	η [-]	Δt [°C]	I [W/m ²]	t_{vz} [°C]	η [-]	Δt [°C]
6:00	53	7	0		15	11,4	0	
7:00	154	8,7	0		101	12,9	0	
8:00	265	10,5	0,055	0,4	212	14,6	0	
9:00	364	12	0,274	2,9	316	16,1	0,263	2,4
10:00	440	12,9	0,372	4,7	398	16,9	0,379	4,4
11:00	488	13,4	0,417	5,9	452	17,4	0,432	5,6
12:00	506	13,7	0,433	6,3	472	17,7	0,450	6,1
13:00	495	14,1	0,429	6,1	460	17,7	0,442	5,9
14:00	454	14,3	0,400	5,2	415	18	0,408	4,9
15:00	385	14	0,328	3,6	339	18,2	0,328	3,2
16:00	291	13	0,164	1,4	239	17,8	0,131	0,9
17:00	182	11,6	0		128	16,8	0	
18:00	75	10,2	0		32	14,2	0	
Výsledná teplota:				46,6	Výsledná teplota:			43,4

Tabulka 4.5-4 Vypočítané hodnoty pro měsíc duben a září

Z těchto výše uvedených informací a na základě vypočtených hodnot v Tabulkách 4.5-1, 4.5-2, 4.5-3, 4.5-4 a Grafu 4.5-1 lze říci, že navržený solární systém pro období duben – září je vhodný pro použití. Oproti předchozímu systému s kolektorovou plochou 16,2 m² má tento systém kolektorovou plochu, a tím i počet kolektorů o polovinu menší, přičemž je také schopný ohřát vodu na požadovanou teplotu ve většině měsíců, ve kterých je využíván. Díky nižším výsledným teplotám ohřáté vody nedojde u tohoto systému k přehřívání a stagnaci, jako tomu bylo u předchozího systému. V měsících s nízkou intenzitou slunečního záření, jako například v březnu a říjnu, lze tento systém využít pro předehřev vody. Výsledné teploty ohřáté vody pro tyto měsíce jsou v tabulkách v Příloze 3.

4.6 Ekonomické zhodnocení

Ekonomické zhodnocení je provedeno na základě smluvních cen se společností CENTROPOL ENERGY a.s., od které domácnost odebírá elektřinu. Ceny za elektřinu, které jsou použity pro výpočet ekonomické návratnosti systému, jsou uvedeny v Příloze 5.

4.6.1 Investiční náklady

Pro ekonomické zhodnocení systému je nutné znát jeho celkovou investici. V Tabulce 4.6-1 jsou uvedeny jednotlivé ceny všech částí systému a výsledná pořizovací cena celého systému, která je tvořena součtem všech těchto položek.

Na základě návrhu jsou pro tento systém zvoleny solární ploché kolektory SUNTIME 2.1 v celkovém počtu 4 kusů. Tento kolektor má celoměděný pájený absorbér s vysoce selektivním povrchem. Jeho konstrukce rámu zabraňuje zachytávání sněhu na čelní ploše, která je zasklena 4 mm silným solárním kaleným sklem. Veškeré technické parametry tohoto kolektoru jsou uvedeny v Příloze 1. Kolektory budou na střechu upevněny pomocí sady pro uchycení. Jako teplotonosná kapalina pro kolektory bude použita antikorozi kapalina Solarten Super 10 s bodem tuhnutí $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ na bázi monopropylenglykolu a s pracovní teplotou do $230\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pro vyrovnání změn objemu kapaliny způsobených změnami její teploty a pro udržení přetlaku v soustavě je vybrána expanzní nádoba SL018. Tato nádoba je vyrobena z kvalitní oceli a je opatřena antikorozi povrchovou úpravou. Původní bojler od firmy Dražice typu OKCE 125 bude nahrazen zásobníkovým ohříváčem vody Regulus RDC 200. Tento ohříváč o objemu 200 l má jeden tepelný výměník pro připojení solárního systému. Veškeré technické parametry zásobníkového ohříváče jsou uvedeny v Příloze 6. Tento zásobník má možnost dovybavení elektrickým topným tělesem pro případ, že bude nutné vodu dohřívát. Jako přídatné topné těleso bylo vybráno těleso Regulus EET-H o výkonu 2,4 kW s poniklovanou povrchovou úpravou a termostatickou hlavicí. Dále pro tento systém byla vybrána jednotrubková čerpadlová skupina Regulus S1 STDC E, která má integrovaný regulátor pro jeden solární spotřebič, dvě tepelná čidla a nízkoenergetické čerpadlo s průtokem 2 – 12 l/min.

Systém pro přípravu TUV s plochými solárními kolektory				
Položka	počet	jednotka	Cena/jednotka [Kč]	Cena [Kč]
Solární kolektor plochý - SUNTIME 2.1	4	ks	12 572	50288
Sada pro uchycení a propojení 4 kolektorů	1	ks	5312	5312
Solární kapalina Solarten Super 10	4	ks	920	3680
Expanzní nádoba AQUAFILL SL018	1	ks	1258	1258
Zásobníkový ohřivač vody Regulus RDC 200	1	ks	12531	12531
Topné těleso Regulus 2,4 kW, typ H	1	ks	2147	2147
Čerpadlová skupina Regulus S1 STDC E	1	ks	11715	11715
Rozvody primárního okruhu	15	m	420	6300
Požizovací cena				93231
Dotace Nová Zelená Úsporám				-35000
Výsledná cena:				58231

Tabulka 4.6-1 Investiční náklady systému pro přípravu TUV s plochými solárními kolektory

Po sečtení jednotlivých cen daných položek vychází pořizovací cena tohoto systému na 93 231 Kč. Od 21. 10. 2015 odstartoval Státní fond životního prostředí ČR program Nová zelená úsporám určenou pro rodinné domy, kde je možné si žádat o dotaci na solární systémy pro ohřev vody, která činí 35 000 Kč. Po odečtení dotace od pořizovací ceny systému se získá výsledná cena systému a tím tedy i celková investice, která činí 58 231 Kč. Do investičních nákladů není započítána cena za instalaci systému.

4.6.2 Návratnost systému

Pro vyhodnocení návratnosti systému se využije vztah 4.11 pro dobu návratnosti T_s :

$$T_s = \frac{IN}{RP} = \frac{58\,231}{5\,699} = 10,2 \text{ let} \quad (4.11)$$

kde:

T_s – doba návratnosti systému [rok]

IN – investiční náklady do systému [Kč]

RP – roční příjem systému, tedy úspora nákladů v důsledku investice [Kč]

Roční příjem vyjadřuje částku za energii, kterou by uživatel musel zaplatit, pokud by nevyužíval tento systém. Roční příjem se vypočte součinem ročního množství vyrobené

energie kolektory a ceny za 1 kWh dle ceníku elektřiny viz vztah 4.12. Množství vyrobené energie za rok Q_c je součet jednotlivých hodnot $Q_{\text{změsíc}}$ z Tabulky 4.5-1. Cena za 1 kWh činí 2,63 Kč dle tarifu D56d, což je snížená distribuční sazba pro tepelná čerpadla.

$$RP = Q_c \cdot \text{Kč} / 1\text{kWh} = 2167 \cdot 2,63 = 5699 \text{ Kč} \quad (4.12)$$

Návratnost systému bude tedy za 10,2 let. Je to poměrně dlouhá doba, která je značně ovlivněna nízkou distribuční sazbou kvůli tepelnému čerpadlu. Pokud by v modelovém objektu tepelné čerpadlo nebylo a odběr elektřiny by byl účtován podle klasického tarifu D01d s cenou 4,92 Kč za 1 kWh, výsledná návratnost systému bude trvat kratší dobu, viz Tabulka 4.6-2. V této tabulce je uvedena i návratnost systému bez využití dotace.

Návratnost systému		
	Tarif D56d 2,63 Kč/kWh	Tarif D01d 4,92 Kč/kWh
Úspora [Kč/rok]	5699	10662
Návratnost s dotací [rok]	10,2	5,5
Návratnost bez dotace [rok]	16,4	8,7

Tabulka 4.6-2 Návratnost systému

Doba návratnosti systému s tarifem D56d je zhruba o polovinu delší než doba návratnosti s tarifem D01d, což je způsobeno nízkou kupní cenou za elektřinu. Proto má systém menší finanční úsporu a jeho návratnost trvá déle. Dalo by se říci, že v tomto případě instalace čerpadla znevýhodňuje návratnost solárního systému pro přípravu TUV. Na druhou stranu tepelné čerpadlo ušetří ročně finanční náklady za tuhá paliva nebo plyn pro vytápění. Po uplynutí doby návratnosti, kdy jsou splaceny investiční náklady, začíná systém šetřit 5 699 Kč ročně za energie, které by byly potřebné pro ohřev užitkové vody. Pokud by modelový objekt odebíral elektřinu při klasickém tarifu D01d, kupní cena elektřiny by byla vyšší, systém by ročně uspořil 10 662 Kč a návratnost systému by byla cca 5,5 roku.

4.7 Environmentální zhodnocení

Environmentální zhodnocení navrženého systému se provádí porovnáním vyrobené energie ze systému se stejným množstvím elektrické energie, kterou by musela vyrobit elektrárna, produkující při výrobě škodlivé emise. Jelikož jsou v České republice dominantními producenty emisí hnědouhelné elektrárny, provádí se srovnání právě s nimi. V Tabulce 4.7-1 je uvedené množství škodlivých emisí vypouštěných do vzduchu při výrobě 1 kWh.

Množství emisí při výrobě elektrické energie [kg/kWh]				
SO₂	NO_x	CO	CO₂	Tuhé látky
0,0052	0,0077	0,00065	1,213	0,003

Tabulka 4.7-1 Množství emisí z hnědouhelné elektrárny [2]

Kdyby domácnost spotřebovala stejné množství energie pro ohřev vody jako vyprodukuje navržený systém, bylo by vypuštěno do ovzduší množství emisí, které je uvedeno v Tabulce 4.7-2. Výsledné množství emisí vyprodukované za rok se získá součinem energie vyprodukované za rok navrženým systémem a množstvím emisí vypuštěných do ovzduší při výrobě 1 kWh elektrické energie hnědouhelnou elektrárnou.

Množství nevypuštěných emisí do ovzduší [kg]				
SO₂	NO_x	CO	CO₂	Tuhé látky
11,27	16,69	1,41	2628,57	6,50

Tabulka 4.7-2 Množství nevypuštěných emisí do ovzduší

Pokud se potřebná elektrická energie z uhelných elektráren pro ohřev vody nahradí energií vyprodukovanou navrženým solárním systémem pro ohřev užitkové vody, bude životní prostředí ušetřeno od množství škodlivých emisí uvedeného v Tabulce 4.7-2.

5 Návrh systému pro přípravu TUV s trubicovými solárními kolektory

Systém pro přípravu teplé užitkové vody s trubicovými kolektory bude navržen pro stejný modelový objekt a bude využíván stejně jako v předchozím případě v měsících od dubna do září.

5.1 Výpočet spotřeby tepla pro ohřev vody

Pro výpočet spotřeby tepla je předpokládán stejný modelový objekt, který je obýván třemi lidmi. Pro zajištění teplé užitkové vody bude opět použit zásobník TUV o objemu 200 l. Množství tepla, které je potřeba systémem dodat pro přípravu teplé vody se vypočte ze vztahu 4.1 jako v předchozím případě a převede se na výkon podle vztahu 4.2. Hodnota tedy bude stejná, $Q_w = 11.6$ kWh.

5.2 Výpočet účinnosti kolektoru

Veškeré výpočty jsou provedeny pro předem vybraný typ kolektoru, ve kterém pro tento systém byly zvoleny solární trubicové kolektory Regulus KTU 9R2. Veškeré technické parametry kolektoru jsou uvedeny v Příloze 7. Pro výpočet účinnosti se použije teoretický vztah 4.3 pro kolektor:

$$\eta_{květen} = \eta_0 - k_1 \cdot \frac{(t_T - t_{vz})}{I} - k_2 \cdot \frac{(t_T - t_{vz})^2}{I} \quad (4.3)$$

$$\eta_{zaří} = 0,708 - 1,570 \cdot \frac{(60 - 16,6)}{364,9} - 0,007 \cdot \frac{(60 - 16,6)^2}{364,9} = 0,485$$

kde:

η_0 – optická účinnost kolektoru, pro kolektor Regulus KTU 9R2 $\eta_0 = 0,708$ [-]

k_1 – lineární ztrátový součinitel, pro kolektor Regulus KTU 9R2 $k_1 = 1,570$ [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]

k_2 – kvadratický ztrátový součinitel, pro kolektor Regulus KTU 9R2 $k_2 = 0,007$ [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]

t_T – střední teplota absorberu (teplonosné kapaliny) $t_T = 60$ [°C]

t_{vz} – teplota vzduchu, která je pro květen $t_{vz} = 16,6$ [°C]

Účinnosti v jednotlivých měsících, ve kterých bude systém využíván, jsou uvedeny v Tabulce 5.2-1. Lze si všimnout, že tento typ kolektorů má mnohem vyšší účinnosti, než kolektory SUNTIME 2.1 v předchozím případě.

Účinnost kolektoru v jednotlivých měsících [-]					
Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září
0,421	0,485	0,51	0,523	0,506	0,409

Tabulka 5.2-1 Účinnost kolektoru v jednotlivých měsících

5.3 Výpočet potřebné plochy a počtu kolektorů

Potřebná plocha kolektorů se vypočítá stejným způsobem jako v předchozím případě. Je-li známa účinnost, lze jejím vynásobením s dopadající energií získat celkovou zachycenou energii solárním kolektorem během jednoho dne viz vztah 4.4. V uvedeném vzorci jsou použity hodnoty účinnosti a dopadající energie v květnu:

$$Q_{Aden} = \eta \cdot Q_s = 0,485 \cdot 3,82 \cdot 10^3 = 2473,5 \text{ Wh/m}^2 \quad (4.4)$$

Je-li známa celková zachycená energie solárním kolektorem během dne, je možné stanovit potřebnou plochu kolektorů:

$$S = \frac{Q_w}{Q_{Aden}} = \frac{11,6 \cdot 10^3}{2473,5} = 4,7 \text{ m}^2 \quad (4.5)$$

$$\text{počet kolektorů} = \frac{\text{potřebná plocha kolektorů}}{\text{plocha jednoho kolektoru}} = \frac{4,7}{2,15} = 2 \text{ kolektory} \quad (4.6)$$

Tento výpočet udává, jak velká musí být potřebná plocha kolektorů viz vztah 4.5 a jaký musí být celkový potřebný počet kolektorů viz vztah 4.6, aby systém dokázal ohřát vodu na

požadovanou teplotu i v měsíci květnu. Velikost potřebných ploch kolektorů a potřebný počet kolektorů pro ostatní měsíce jsou uvedeny v Tabulce 5.3-1.

Měsíc:	Potřebná plocha S [m ²]	Počet kolektorů [Ks]
Duben	5,65	3
Květen	4,69	2
Červen	4,26	2
Červenec	4,28	2
Srpen	4,71	2
Září	7,42	3

Tabulka 5.3-1 Potřebná plocha kolektorů a potřebný počet kolektorů

U těchto hodnot si lze všimnout, že pro letní měsíce s dostatečným slunečním ziskem postačí na ohřev vody pouze 2 kolektory. Z této skutečnosti se tedy bude vycházet a navrhovaný systém pro dobu využití v měsících od dubna do září bude mít kolektorovou plochu právě 4,7 m², tedy dva trubkové kolektory.

5.4 Energetická bilance pro systém s kolektorovou plochou 4,7 m²

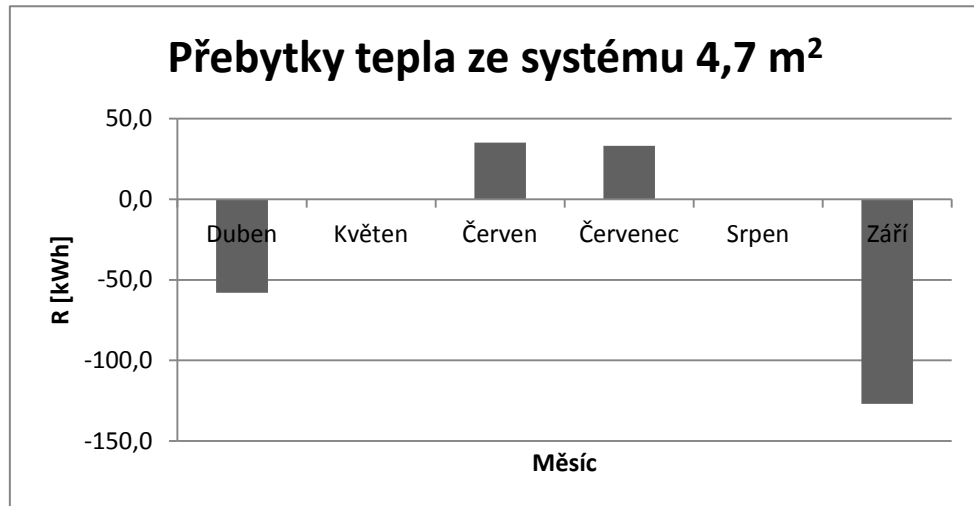
Stanovení energetické bilance se provede stejným způsobem jako u systému s plochými kolektory s kolektorovou plochou 6,7 m², podle vztahů 4.7, 4.8, 4.9. Všechny vypočtené hodnoty jsou uvedené v Tabulce 5.4-1.

Tabulka vypočtených hodnot					
Měsíc	η	Q_{Aden} [Wh/m ²]	Q_{Zden} [kWh]	$Q_{\text{Změsíc}}$ [kWh]	R [kWh]
Duben	0,421	2054,5	9,7	289,7	-58,3
Květen	0,485	2473,5	11,6	348,0	0,0
Červen	0,51	2723,4	12,8	384,0	36,0
Červenec	0,523	2709,1	12,7	382,0	34,0
Srpen	0,506	2464,2	11,6	348,0	0,0
Září	0,409	1562,4	7,3	220,3	-127,7

Tabulka 5.4-1 Vypočtené hodnoty energetické bilance

Jak ukazují hodnoty v Tabulce 5.4-1, tento systém bude schopný sám pokrýt přípravu teplé vody v měsících od května do srpna, ve kterých nebude nutné použití náhradního ohřevu. V měsících dubnu a září již bude patrně nutné použít náhradní zdroj ohřevu.

Tento systém také vyprodukuje výrazně menší přebytky energie, které lze vidět v Grafu 5.4-1, než předchozí systém s plochými kolektory s plochou 16,2 m².



Graf 5.4-1 Přebytky energie ze systému

Tento systém bude mít díky své menší ploše výrazně menší přebytky energie v jednotlivých měsících než předchozí systém s plochými kolektory s plochou 16,2 m², které lze dokázat výslednou nižší teplotou ohřáté vody, viz Tabulka 4.5-2.

Květen				
Čas	I [W/m ²]	t_{vz} [°C]	η [-]	Δt [°C]
7:00	204	14,1	0,282	1,2
8:00	313	15,6	0,441	2,8
9:00	409	16,7	0,510	4,2
10:00	483	17,3	0,543	5,3
11:00	530	17,6	0,559	6,0
12:00	548	17,8	0,564	6,2
13:00	537	18,1	0,563	6,1
14:00	497	18,3	0,552	5,5
15:00	430	18,2	0,527	4,6
16:00	339	17,6	0,475	3,2
17:00	232	16,7	0,358	1,7
Výsledná teplota:				56,9

Tabulka 5.4-2 Vypočítané hodnoty pro měsíc květen

V ranních a večerních hodinách je z důvodu nízké intenzity slunečního záření účinnost kolektoru v tuto dobu opět nulová a systém s kolektorovou plochou 4,7 m² bude v měsíci květnu ohřívat vodu od 8:00 do 17:00, přičemž dosáhne výsledné teploty ohřáté vody 56,9 °C. Lze si všimnout, že tato hodnota je oproti systému s plochými kolektory s plochou 6,7 m² menší o cca 5 °C. Systém je tedy schopný dosáhnout požadované teploty v měsících s dostatečným slunečním ziskem, aniž by se musel použít pro ohřev vody náhradní zdroj ohřevu. V měsících s nižší intenzitou solárního záření, jako je například duben a září, již bude nutné použít náhradní zdroj ohřevu. Pro ověření, zda systém dokáže ohřát vodu na požadovanou teplotu po celou dobu jeho využívání, byly provedeny kontrolní výpočty i pro ostatní měsíce. Hodnoty pro měsíc červenec, ve kterém je intenzita slunečního záření a teplota okolí nejvyšší, lze nalézt v Tabulce 5.4-3. Hodnoty pro měsíce duben a září, ve kterém je intenzita slunečního záření a teplota okolí nejnižší, lze nalézt v Tabulce 5.4-4. Veškeré hodnoty pro zbylé měsíce jsou pak uvedeny v Příloze 4.

Červenec				
Čas	I [W/m ²]	t_{vz} [°C]	η [-]	Δt [°C]
6:00	110	17,4	-0,016	0,0
7:00	218	19	0,359	1,6
8:00	329	20,4	0,486	3,2
9:00	427	21,5	0,542	4,7
10:00	503	22,1	0,570	5,8
11:00	551	22,4	0,583	6,5
12:00	569	22,5	0,587	6,7
13:00	558	22,8	0,586	6,6
14:00	517	23,1	0,578	6,0
15:00	448	23,1	0,557	5,0
16:00	355	22,7	0,516	3,7
17:00	246	21,9	0,424	2,1
18:00	135	20,8	0,172	0,5
Výsledná teplota:				62,4

Tabulka 5.4-3 Vypočítané hodnoty pro měsíc červenec

Navržený solární systém s plochou kolektorů 4,7 m² dosáhne výrazně menší výsledné teploty v červenci, tedy v měsíci s největším solárním ziskem, než předchozí systém s plochými kolektory s plochou 16,2 m² při stejných podmínkách.

Nevýhodou se může zdát nízká výsledná teplota vody v měsících dubnu a září, tedy v měsících, ve kterých předchází systém vodu bez problémů ohřívá na vysokou teplotu. Lze si všimnout, že v těchto měsících je teplota ohřáté vody už skoro stejná, jako u systému s plochými kolektory s plochou 6,7 m², viz Tabulka 5.4-4. Navíc tento systém v chladných měsících ohřeje vodu cca o dvě hodiny déle a na vyšší teplotu, než systém s plochými kolektory. V březnu na $t = 31,8$ °C a v říjnu na $t = 30,5$ °C, viz Příloha 4, a tak je vhodnější volbou pro přehřev vody.

Duben					Září			
Čas	I [W/m ²]	t_{vz} [°C]	η [-]	Δt [°C]	I [W/m ²]	t_{vz} [°C]	η [-]	Δt [°C]
6:00	53	7	0		15	11,4	0	
7:00	154	8,7	0,065	0,2	101	12,9	0	
8:00	265	10,5	0,350	1,9	212	14,6	0,304	1,3
9:00	364	12	0,457	3,4	316	16,1	0,447	2,9
10:00	440	12,9	0,505	4,5	398	16,9	0,505	4,1
11:00	488	13,4	0,527	5,2	452	17,4	0,532	4,9
12:00	506	13,7	0,535	5,5	472	17,7	0,541	5,2
13:00	495	14,1	0,533	5,3	460	17,7	0,536	5,0
14:00	454	14,3	0,518	4,7	415	18	0,519	4,3
15:00	385	14	0,482	3,7	339	18,2	0,478	3,3
16:00	291	13	0,401	2,4	239	17,8	0,379	1,8
17:00	182	11,6	0,200	0,7	128	16,8	0,076	0,2
18:00	75	10,2	0		32	14,2	0	
Výsledná teplota:				47,5	Výsledná teplota:			42,8

Tabulka 5.4-4 Vypočítané hodnoty pro duben a září

Z těchto výše uvedených informací a na základě vypočtených hodnot v Tabulkách 5.4-1, 5.4-2, 5.4-3, 5.4-4 a Grafu 5.4-1 lze říci, že navržený solární systém pro období duben – září je také vhodný pro použití v těchto měsících. Oproti předchozímu systému s kolektorovou plochou 16,2 m² má tento systém kolektorovou plochu, a tím i počet kolektorů, o polovinu menší, přičemž je také schopný ohřát vodu na požadovanou teplotu ve většině měsíců, ve kterých je využíván. Navíc v ostatních měsících může být použit pro přehřev vody s dobrou účinností, což taková možnost u systému s plochými kolektory není. Díky nižším výsledným teplotám ohřáté vody nedojde u tohoto systému k přehřívání a stagnaci, jako tomu bylo u systému s plochými kolektory s plochou 16,2 m². Výsledné teploty ohřáté vody pro tyto měsíce jsou v tabulkách v Příloze 4.

5.5 Ekonomické zhodnocení

Ekonomické zhodnocení je opět provedeno na základě smluvních cen se společností CENTROPOL ENERGY a.s., od které domácnost odebírá elektřinu. Ceny za elektřinu, které jsou použity pro výpočet ekonomické návratnosti systému, jsou stejné jako v předchozím případě a jsou uvedeny v Příloze 5.

5.5.1 Investiční náklady

Pro ekonomické zhodnocení systému je stejný postup jako v předchozím případě. V Tabulce 5.5-1 jsou uvedeny jednotlivé ceny všech částí systému a výsledná pořizovací cena celého systému, která je tvořena součtem všech těchto položek.

Na základě návrhu jsou pro tento systém zvoleny solární trubkové kolektory Regulus KTU 9R2 v celkovém počtu 2 kusů. Tento kolektor má 9 trubic, které jsou tvořeny dvěma skleněnými souosými trubkami, mezi kterými je vakuum. Ke skleněným trubicím přiléhají hliníkové lamely, které sbírají teplo z celého vnitřního povrchu vakuové trubice a předávají ho do solární kapaliny v měděné trubičce. Veškeré technické parametry tohoto kolektoru jsou uvedeny v Příloze 7. Kolektory budou na střechu upevněny pomocí sady pro uchycení. Jako teplonosná kapalina pro kolektory bude použita antikorozi kapalina Kolekton P super s bodem tuhnutí -32 °C na bázi monopropylenglykolu a s pracovní teplotou do 152 °C . Pro vyrovnání změn objemu kapaliny způsobených změnami její teploty a pro udržení přetlaku v soustavě bude použita stejná expanzní nádoba SL018 jako v předchozím případě. Bude použit i stejný zásobníkový ohříváč vody Regulus RDC 200 o objemu 200 l s přidavným topným tělesem Regulus EET-H o výkonu 2,4 kW pro případný dohřev vody. Stejná bude i jednotrubková čerpadlová skupina Regulus S1 STDC E.

Systém pro přípravu TUV s trubicovými solárními kolektory				
Položka	počet	jednotka	Cena/jednotka [Kč]	Cena [Kč]
Solární kolektor trubicový - Regulus KTU 9R2	2	ks	18 867	37734
Sada pro uchycení a propojení 2 kolektorů KTU	1	ks	2633	2633
Solární kapalina Kolekton P super 25 l	1	ks	1825	1825
Expanzní nádoba AQUAFILL SL018	1	ks	1258	1258
Zásobníkový ohřívač vody Regulus RDC 200	1	ks	12531	12531
Topné těleso Regulus 2,4 kW, typ H	1	ks	2147	2147
Čerpadlová skupina Regulus S1 STDC E	1	ks	11715	11715
Rozvody primárního okruhu	15	m	420	6300
Pořizovací cena				76143
Dotace Nová Zelená Úsporám				-35000
Výsledná cena:				41143

Tabulka 5.5-1 Investiční náklady systému pro přípravu TUV s trubicovými solárními kolektory

Po sečtení jednotlivých cen daných položek vychází pořizovací cena tohoto systému na 76 143 Kč. Na tento systém je také možné si požádat o dotaci v rámci Nová zelená úsporám ve výši 35 000 Kč. Po odečtení dotace od pořizovací ceny systému se získá výsledná cena systému a tím tedy i celková investice, která činí 41 143 Kč. Tato investice je nižší než u předchozího systému díky menší potřebné kolektorové ploše, a tím i nižšímu počtu kolektorů. Jak lze vidět z Tabulky 5.5-1 a Tabulky 4.6-1, trubicové kolektory jsou sice dražší než ploché kolektory, ale z důvodu nižšího počtu těchto kolektorů sníží celkovou investici do systému. Do investičních nákladů není započítána cena za instalaci systému.

5.5.2 Návratnost systému

Pro vyhodnocení návratnosti systému se opět využije vztah 4.11 pro dobu návratnosti T_s :

$$T_s = \frac{IN}{RP} = \frac{41\,143}{5\,702} = 7,2 \text{ let} \quad (4.11)$$

Roční příjem se vypočte ze vztahu 4.12 jako v předchozím případě. Množství vyrobené energie za rok Q_c je součet jednotlivých hodnot $Q_{\text{změsíc}}$ z Tabulky 5.4-1. Cena za 1 kWh činí 2,63 Kč dle tarifu D56d.

$$RP = Q_c \cdot \text{Kč} / 1\text{kWh} = 2168 \cdot 2,63 = 5702 \text{ Kč} \quad (4.12)$$

Návratnost systému bude tedy za 7,2 let, což je o poznání kratší doba než u předchozího systému, u kterého návratnost byla 10,2 roku. Kratší návratnost je dána nižší investicí do systému, přičemž je ale také ovlivněna nízkou distribuční sazbou díky tepelnému čerpadlu. Pokud by v modelovém objektu tepelné čerpadlo nebylo a odběr elektřiny by byl účtován podle klasického tarifu D01d s cenou 4,92 Kč za 1 kWh, výsledná návratnost systému bude trvat dobu viz Tabulka 5.5-2. V této tabulce je uvedena i návratnost systému bez využití dotace.

Návratnost systému		
	Tarif D56d 2,63 Kč/kWh	Tarif D01d 4,92 Kč/kWh
Úspora [Kč/rok]	5702	10667
Návratnost s dotací [rok]	7,2	3,9
Návratnost bez dotace [rok]	13,3	7,1

Tabulka 5.5-2 Návratnost systému

Doba návratnosti systému s tarifem D56d je zhruba také o polovinu delší než doba návratnosti s tarifem D01d, jako tomu bylo u předchozího systému s plochými kolektory, což je způsobenou nízkou kupní cenou za elektřinu. Proto má systém menší finanční úsporu a jeho návratnost trvá déle. Dalo by se říci, že i v tomto případě instalace čerpadla znevýhodňuje návratnost solárního systému pro přípravu TUV. Po uplynutí doby návratnosti, během které jsou splaceny investiční náklady, začíná systém šetřit 5 702 Kč ročně za energie, které by byly potřebné pro ohřev užitkové vody. Pokud by modelový objekt odebíral elektřinu při klasickém tarifu D01d, kupní cena elektřiny by byla vyšší, systém by ročně uspořil 10 667 Kč a návratnost systému by byla cca 4 roky. Pořízení systému bez využití dotace je z hlediska investice i návratnosti velice nevýhodné.

5.6 Environmentální zhodnocení

Environmentální zhodnocení navrženého systému se provede stejným způsobem jako v předchozím případě, tedy porovnáním vyrobené energie ze systému se stejným množstvím elektrické energie, kterou by musela vyrobit elektrárna, produkující při výrobě škodlivé emise. Množství škodlivých emisí vypouštěných do vzduchu při výrobě 1 kWh je uvedeno v Tabulce 4.7-1. Výsledné množství emisí vyprodukované za rok se opět získá součinem energie vyprodukované za rok navrženým systémem a množstvím emisí vypuštěných do ovzduší při výrobě 1 kWh elektrické energie hnědouhelnou elektrárnou.

Množství nevypuštěných emisí do ovzduší [kg]				
SO ₂	NO _x	CO	CO ₂	Tuhé látky
11,27	16,69	1,41	2629,78	6,50

Tabulka 5.6-1 Množství nevypuštěných emisí do ovzduší

Pokud se potřebná elektrická energie z uhelných elektráren pro ohřev vody nahradí energií vyprodukovanou navrženým solárním systémem pro ohřev užitkové vody, bude životní prostředí ušetřeno od množství škodlivých emisí uvedeného v Tabulce 5.6-2. Toto množství je srovnatelné s množstvím ušetřených emisí systémem s plochými kolektory. Lze tedy říci, že oba tyto navržené systémy šetří životní prostředí stejně.

6 Návrh systému pro přípravu TUV s fotovoltaickými panely

Systém pro přípravu teplé užitkové vody s fotovoltaickými kolektory bude navržen pro stejný modelový objekt a bude dimenzován stejně jako v předchozím případě na provoz v měsících od dubna do září. Navržený fotovoltaický systém bude provozován v ostrovním režimu, což znamená, že systém nebude připojen na distribuční síť a veškerá jeho vyrobená energie bude využita na ohřev užitkové vody. Fotovoltaické panely budou instalovány pod stejným úhlem, tedy 35 °.

6.1 Výpočet spotřeby tepla pro ohřev vody

Pro výpočet spotřeby tepla je předpokládáno stejné množství vody jako v předchozím případě, opět bude tedy použit zásobník TUV o objemu 200 l. Množství tepla, které je potřeba systémem dodat pro přípravu teplé vody se vypočte ze vztahu 4.1 jako v předchozím případě a převede se na výkon viz vztah 4.2. Hodnota tedy bude stejná, $Q_w = 11.6$ kWh.

6.2 Výpočet účinnosti fotovoltaických panelů

Veškeré výpočty jsou provedeny pro předem vybraný typ fotovoltaického panelu, kde pro tento systém byly zvoleny panely Ameriosolar AS-6P30 250W. Veškeré technické parametry panelu jsou uvedeny v Příloze 8. Účinnost fotovoltaických panelů je závislá na provozní teplotě samotného panelu a intenzitě slunečního záření. Navíc provozní teplota panelu je závislá na teplotě okolí a intenzitě slunečního záření, a proto je nejdříve nutné stanovit provozní teplotu panelu podle následujícího vztahu 6.1:

$$t_{PROVOZ} = t_0 + k_T \cdot I \quad [^{\circ}C] \quad (6.1)$$

kde:

t_0 – průměrná teplota okolí v daném měsíci [$^{\circ}C$]

k_T – koeficient závislý na způsobu uložení panelu, $k_T = 0,035$ [$^{\circ}C \cdot (W \cdot m^2)^{-1}$]

I – intenzita slunečního záření [$W \cdot m^{-2}$]

Pro tento výpočet jsou použity průměrná teplota okolí a průměrná intenzita slunečního záření pro daný měsíc, které jsou převzaty z Tabulky 4.3-1. Protože se provozní teplota mění v závislosti na teplotě okolí, je nutné ji stanovit pro každý měsíc zvlášť. Hodnoty teplot jsou uvedeny v Tabulce 6.2-1.

Provozní teplota panelu			
Měsíc	t_o [°C]	I [W/m ²]	t_{Provoz} [°C]
Leden	0,1	91,4	3,3
Únor	1,3	156,6	6,8
Březen	6	231,5	14,1
Duben	12	319,4	23,2
Květen	16,6	364,9	29,4
Červen	19,8	374,7	32,9
Červenec	21,5	382	34,9
Srpen	21	355,5	33,4
Září	16,1	275,3	25,7
Říjen	10,6	206,5	17,8
Listopad	4,8	89,2	7,9
Prosinec	0,8	61,2	2,9

Tabulka 6.2-1 Provozní teplota fotovoltaických panelů v daný měsíc

Pokud je známa provozní teplota panelu, lze pak vypočítat účinnost podle vztahu 6.2:

$$\eta = \eta_{STC} \cdot \left(1 - k_{FV} \cdot (t_{\text{PROVOZ}} - t_{STC}) + \lambda \cdot \log \frac{I}{I_{STC}} \right) \quad [-] \quad (6.2)$$

kde:

η_{STC} – účinnost panelu při standardních podmínkách, pro panel Ameriosolar AS-6P30 250W

$$\eta_{STC} = 0,156 \quad [-]$$

k_{FV} – koeficient udávající změnu výkonu v závislosti na teplotě, pro panel Ameriosolar AS-6P30 250W $k_{FV} = 0,0043 \quad [^{\circ}\text{C}^{-1}]$

t_{STC} – teplota při standardních podmínkách $t_{STC} = 25 \quad [^{\circ}\text{C}]$

I_{STC} – intenzita slunečního záření při standardních podmínkách $I_{STC} = 1000 \quad [\text{W}/\text{m}^2]$

λ – součinitel, který zohledňuje hladinu intenzity dopadajícího slunečního záření, obvykle $\lambda = 0,12 \quad [-]$

Pro tento výpočet jsou použity provozní teplota okolí pro daný měsíc z Tabulky 6.2-1 a průměrná intenzita slunečního záření pro daný měsíc, která je převzata z Tabulky 4.3-1. V Tabulce 6.2-2 jsou pak uvedeny výsledné účinnosti panelu ve všech měsících.

Účinnost fotovoltaických panelů v jednotlivých měsících η [-]											
Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
0,151	0,153	0,151	0,148	0,145	0,143	0,142	0,142	0,145	0,148	0,148	0,148

Tabulka 6.2-2 Účinnost fotovoltaických panelů v jednotlivých měsících

Reálné hodnoty účinností z Tabulky 6.2-2 ukazují, že ani v jednom z měsíců fotovoltaické panely nedosáhnou účinnosti slibované výrobcem. Je to z toho důvodu, že v klimatických podmínkách v České republice nelze dosáhnout hodnot srovnatelných se standardními podmínkami. I v tomto případě je ale závislost účinnosti na roční době výrazně menší než u solárních kolektorů, u kterých se účinnost během roku velmi mění. U fotovoltaických panelů se účinnost během roku mění jen nepatrně. Na druhou stranu účinnost solárních kolektorů v letních měsících, tedy v měsících, ve kterých se využívá tento navrhovaný systém, je účinnost mnohonásobně vyšší než u fotovoltaických panelů.

6.3 Výpočet potřebné plochy a počtu panelů

Je-li známa účinnost panelu, lze získat jejím součinem s dopadající energií Q_s , viz Tabulka 4.3-1, celkovou zachycenou energii fotovoltaickým panelem během jednoho dne viz vztah 4.4:

$$Q_{Aden} = \eta \cdot Q_s = 0,145 \cdot 3,82 \cdot 10^3 = 554 \text{ Wh/m}^2 \quad (4.4)$$

V tomto výpočtu jsou dosazené hodnoty pro měsíc září, tedy pro měsíc s nejslabší intenzitou slunečního záření.

Je-li známa celková zachycená energie fotovoltaickým panelem během dne, je možné stanovit potřebnou plochu kolektorů:

$$S = \frac{Q_w}{Q_{Aden}} = \frac{11,6 \cdot 10^3}{554} = 20,9 \text{ m}^2 \quad (4.5)$$

$$\text{počet panelů} = \frac{\text{potřebná plocha panelů}}{\text{plocha jednoho panelu}} = \frac{20,9}{1,6} = 13 \text{ panelů} \quad (4.6)$$

Tento výpočet udává, jak velká musí být potřebná plocha panelů viz vztah 4.5 a jaký musí být celkový potřebný počet panelů viz vztah 4.6, aby systém dokázal ohřát vodu na požadovanou teplotu i v měsíci září. Velikost potřebných ploch a potřebný počet panelů pro ostatní měsíce jsou uvedeny v Tabulce 6.3-1.

Měsíc:	Potřebná plocha S [m ²]	Počet kolektorů [Ks]
Leden	72,42	45
Únor	38,06	24
Březen	21,28	13
Duben	16,07	10
Květen	15,70	10
Červen	15,22	10
Červenec	15,82	10
Srpen	16,78	10
Září	20,94	13
Říjen	30,74	19
Listopad	61,80	39
Prosinec	84,23	53

Tabulka 6.3-1 Potřebná plocha a potřebný počet panelů v daném měsíci

U těchto hodnot si lze všimnout, že pro ohřátí stejného množství vody je potřebná plocha fotovoltaických panelů mnohem větší než potřebná plocha solárních kolektorů.

V měsících od dubna do srpna postačí na ohřátí vody 10 fotovoltaických panelů, což by se mohlo zdát jako dobrý kompromis s tím, že v září by bylo nutné vodu přehřívát přídavným zdrojem tepla, samozřejmě v dalších měsících také. Pro tento systém je předem vybraný ohřívač vody od firmy Dražice, typ LX ACDC/M+K 200 o objemu 200 l. Topné DC těleso v tomto ohřívači je ale omezeno maximálním výkonem 2 kW, který umožňuje připojení maximálně 8 fotovoltaických panelů o výkonu 250 W/panel. Z této skutečnosti se tedy bude vycházet a navrhovaný systém pro dobu využití v měsících od dubna do září bude mít právě 8 fotovoltaických panelů.

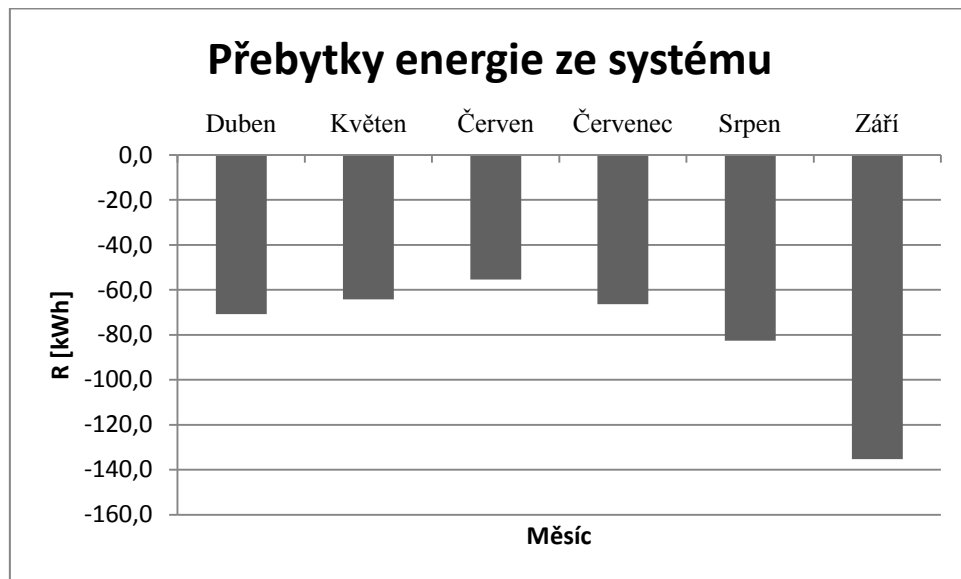
6.4 Energetická bilance pro fotovoltaický systém

Kvůli omezenému počtu fotovoltaických panelů bude tedy použito jen 8 kusů, což odpovídá ploše 12,8 m². Stanovení energetické bilance se provede stejným způsobem jako u systému s kolektory, podle vztahů 4.7, 4.8, 4.9. Všechny vypočtené hodnoty jsou uvedené v Tabulce 4.5-1.

Tabulka vypočtených hodnot					
Měsíc	η	$Q_{A\text{den}} [\text{Wh/m}^2]$	$Q_{Z\text{den}} [\text{kWh}]$	$Q_{Z\text{měsíc}} [\text{kWh}]$	R [kWh]
Duben	0,148	722,0	9,2	277,2	-70,8
Květen	0,145	738,8	9,5	283,7	-64,3
Červen	0,143	762,1	9,8	292,6	-55,4
Červenec	0,142	733,3	9,4	281,6	-66,4
Srpen	0,142	691,2	8,8	265,4	-82,6
Září	0,145	554,0	7,1	212,7	-135,3

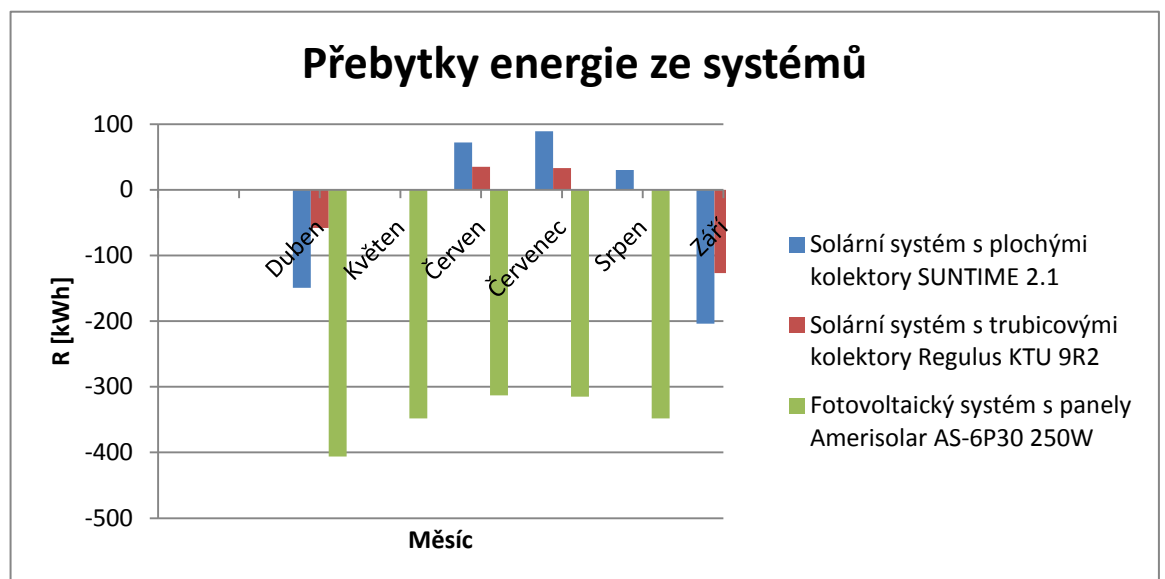
Tabulka 6.4-1 Vypočtené hodnoty energetické bilance

Jak ukazují hodnoty v Tabulce 6.4-1, tento systém nebude schopný sám pokrýt přípravu teplé vody ve všech měsících a bude tedy nutné použití dohřevu topným AC tělesem, které bude odebírat proud z distribuční sítě. Tento systém tedy nebude mít ani přebytky tepla, které lze vidět v Grafu 4.4-1, jako předchozí solární kolektorové systémy.



Graf 6.4-1 Přebytky energie ze systému

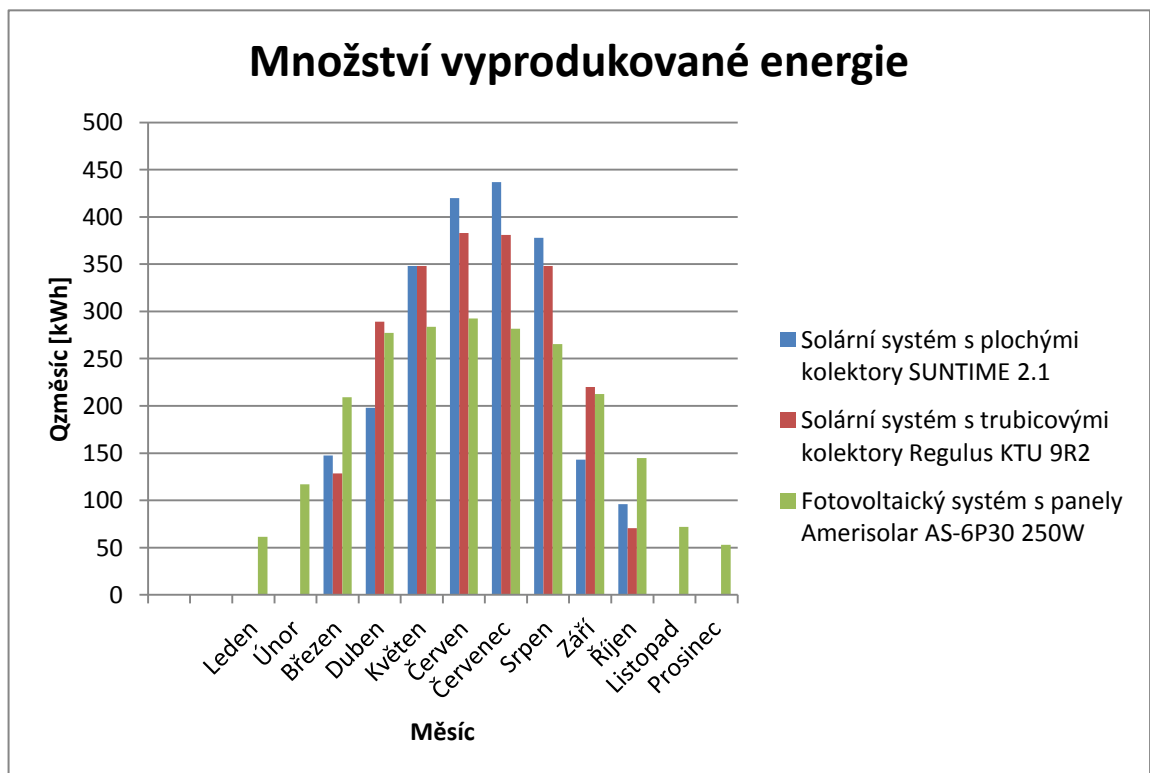
Pro přehlednost je v Grafu 6.4-2 provedeno energetické srovnání všech systémů. Tento graf naznačuje, s jakým množstvím energie dokáží navržené systémy ohřát dané množství vody na požadovanou teplotu.



Graf 6.4-2 Přebytky energie ze systémů

Z navržených systémů si nejlépe stojí solární systém s trubicovými kolektory Regulus KTU 9R2, který má při ohřívání vody od května do srpna nejmenší přebytky energie a oproti solárnímu systému s plochými kolektory SUNTIME 2.1 potřebuje v dubnu a září méně energie na dohřev vody jiným tepelným zdrojem. Tento systém se tedy jeví po energetické stránce jako nejlepší z těchto navržených systémů. Fotovoltaický systém s panely Amerisolar AS-6P30 250W potřebuje dohřívát vodu topným AC tělesem napájeným z distribuční sítě ve všech měsících svého používání a jeví se tak po energetické stránce jako nejhorší navržený systém.

V Grafu 6.4-3 je provedeno srovnání systému z hlediska množství vyprodukované energie.



Graf 6.4-3 Množství vyprodukované energie

Z navržených systémů vyprodukuje měsíčně nejvíce energie solární systém s plochými kolektory SUNTIME 2.1. Nejméně pak fotovoltaický systém s panely Amerisolar AS-6P30 250W, který ale dodává energii na ohřev vody po celý rok oproti dvěma navrženým solárním systémům, které v zimních měsících nedodávají energii pro ohřev vody vůbec.

Solární systém s plochými kolektory SUNTIME 2.1. vyprodukuje ročně 2167,7 kWh, solární systém s trubicovými kolektory Regulus KTU 9R2 vyprodukuje ročně 2167,9 kWh a fotovoltaický systém s panely Amerisolar AS-6P30 250W vyprodukuje ročně 2270,9 kWh, což je nejvíce z těchto tří navržených systémů.

6.5 Ekonomické zhodnocení

Ekonomické zhodnocení je opět provedeno na základě smluvních cen se společností CENTROPOL ENERGY a.s., od které domácnost odebírá elektřinu. Ceny za elektřinu, které jsou použity pro výpočet ekonomické návratnosti systému, jsou stejné jako v předchozím případě a jsou uvedeny v Příloze 5.

6.5.1 Investiční náklady

Pro ekonomické zhodnocení systému je stejný postup jako v předchozím případě. V Tabulce 6.5-1 jsou uvedeny jednotlivé ceny všech částí systému a výsledná pořizovací cena celého systému, která je tvořena součtem všech těchto položek.

Na základě návrhu jsou pro tento systém zvoleny fotovoltaické polykrystalické panely Amerisolar AS-6P30 250W v celkovém počtu 8 kusů. Tento panel má účinnost 15 % a výkon 250 Wp. Veškeré technické parametry tohoto panelu jsou uvedeny v Příloze 8. Panely budou na střechu upevněny pomocí sady Solar SW1 pro uchycení. Panely budou propojeny jednožilovým kabelem určeným pro fotovoltaické panely, kabelem SOL 6.0 mm². Jako zásobníkový ohřívač vody bude použit ohřívač LX ACDC/M+K 200 od firmy Dražice o objemu 200 l. Tento ohřívač má DC topné těleso o příkonu 2 kW, které je napájeno z fotovoltaických panelů a AC topné těleso o příkonu 2 kW, které je napájeno proudem z distribuční sítě. Termostaty na tomto ohřívači je možné nastavit podle potřeby v rozmezí 5 - 40 °C. Nastavení teploty vody při ohřevu DC proudem se doporučuje maximálně na 70 °C, kdy tato teplota zabezpečuje maximální využití energie z fotovoltaických panelů. Po dosažení nastavené teploty rozepne termostat přívod elektrického proudu a tím přeruší ohřev vody. Veškeré technické parametry tohoto ohřívače jsou uvedeny v Příloze 9. Aby bylo možné na

tento systém žádat o dotaci, je nutné ho vybavit optimalizérem výkonu MPPT – Logitex LXDC Power Box 1-2 kW DC, což je zařízení pro optimalizaci výkonu systému. Zvyšuje efektivitu ohřevu vody při nedostatku slunečního záření aktivací funkce MPPT a naopak při dostatku funkci MPPT vyřadí, protože by výtěžnost systému snižovala. Toto zařízení se instaluje mezi fotovoltaické panely a DC topné těleso.

Fotovoltaický systém pro přípravu TUV				
Položka	počet	jednotka	Cena/jednotka [Kč]	Cena [Kč]
Fotovoltaický panel Amerisolar AS-6P30 250W	8	ks	4 350	34800
Sada Solar SW1 pro upevnění panelu	2	ks	3390	6780
kabel SOL 6.0 mm ²	25	m	37	925
Fotovoltaický ohřívač LX ACDC/M+K ABC 200	1	ks	18200	18200
Logitex LXDC Power Box 1-2 kW DC	1	ks	8491	8491
Požizovací cena				69196
Dotace Nová Zelená Úsporám				-35000
Výsledná cena:				34196

Tabulka 6.5-1 Investiční náklady fotovoltaického systému pro přípravu TUV

Po sečtení jednotlivých cen daných položek vychází pořizovací cena tohoto systému na 69 196 Kč. Na tento systém je opět možné si požádat o dotaci v rámci Nová zelená úsporám ve výši 35 000 Kč. Po odečtení dotace od pořizovací ceny systému se získá výsledná cena systému a tím tedy i celková investice, která činí 34 196 Kč. Tato investice je nejnižší ze všech systémů nejen díky nízké ceně fotovoltaických panelů, ale i nižšímu počtu komponentů. Jak lze vidět z Tabulky 6.5-1, fotovoltaický systém má nejméně komponentů z těchto navrhovaných systémů, což je dáno jeho jednoduchostí. Do investičních nákladů není započítána cena za instalaci systému.

6.5.2 Návratnost systému

Pro vyhodnocení návratnosti systému se opět využije vztah 4.11 pro dobu návratnosti T_s :

$$T_s = \frac{IN}{RP} = \frac{34\,196}{5\,973} = 5,7 \text{ let} \quad (4.11)$$

Roční příjem se vypočte ze vztahu 4.12 jako v předchozím případě. Množství vyrobené energie za rok Q_c je součet jednotlivých hodnot $Q_{\text{změsíc}}$ z Tabulky 6.4-1. Cena za 1 kWh činí 2,63 Kč dle tarifu D56d.

$$RP = Q_c \cdot \text{Kč} / 1\text{kWh} = 2271 \cdot 2,63 = 5973 \text{ Kč} \quad (4.12)$$

Návratnost systému bude tedy za 5,7 let, což je nejkratší doba ze všech navrhovaných systémů. Nejkratší návratnost je dána nejnižší investicí do systému, přičemž je ale také ovlivněna nízkou distribuční sazbou díky tepelnému čerpadlu. Pokud by v modelovém objektu tepelné čerpadlo nebylo a odběr elektřiny by byl účtován podle klasického tarifu D01d s cenou 4,92 Kč za 1 kWh, výsledná návratnost systému bude trvat dobu viz Tabulka 6.5-2. V této tabulce je uvedena i návratnost systému bez využití dotace a pro přehledné srovnání jsou zde uvedeny i zbylé navržené systémy.

Návratnost systémů			
Systém:		Tarif D56d 2,63 Kč/kWh	Tarif D01d 4,92 Kč/kWh
SUNTIME 2.1	Úspora [Kč/rok]	5702	10 667
	Návratnost s dotací [rok]	7,2	3,9
	Návratnost bez dotace [rok]	13,3	7,1
Regulus KTU 9R2	Úspora [Kč/rok]	5699	10662
	Návratnost s dotací [rok]	10,2	5,5
	Návratnost bez dotace [rok]	16,4	8,7
Amerisolar AS-6P30 250W	Úspora [Kč/rok]	5973	11173
	Návratnost s dotací [rok]	5,7	3
	Návratnost bez dotace [rok]	11,6	6,2

Tabulka 6.5-2 Návratnost systémů

Doba návratnosti systému s tarifem D56d je zhruba také o polovinu delší než doba návratnosti s tarifem D01d jako u předchozích systémů, což je opět způsobeno nízkou kupní cenou za elektřinu. Po uplynutí doby návratnosti, během které jsou splaceny investiční náklady, začíná systém šetřit 5 973 Kč ročně za energie, která by byla potřebná pro ohřev užitkové vody. Pokud by modelový objekt odebíral elektřinu při klasickém tarifu D01d, kupní cena elektřiny by byla vyšší, systém by ročně uspořil 11 173 Kč a návratnost systému by byla 3 roky. Z Tabulky 6.5-2 lze také vidět, že solární systém s plochými kolektory ušetří ročně cca stejné množství finančních prostředků jako solární systém s trubicovými kolektory, přičemž pořizovací cena trubicového systému je o 17 000 Kč nižší. Fotovoltaický systém ušetří nejvíce finančních prostředků, je nejlevnější a má nejkratší dobu návratnosti ze všech navržených systémů.

6.6 Environmentální zhodnocení

Environmentální zhodnocení navrženého systému se provede stejným způsobem jako v předchozím případě, porovnáním vyrobené energie ze systému se stejným množstvím elektrické energie, kterou by musela vyrobit elektrárna, která při výrobě produkuje škodlivé emise.

Množství nevypuštěných emisí do ovzduší [kg]					
Systém:	SO ₂	NO _x	CO	CO ₂	Tuhé látky
SUNTIME 2.1	11,27	16,69	1,41	2628,57	6,50
Regulus KTU 9R2	11,27	16,69	1,41	2629,78	6,50
Amerisolar AS-6P30 250W	11,81	17,49	1,48	2754,72	6,81

Tabulka 6.6-1 Množství nevypuštěných emisí do ovzduší

Pokud se potřebná elektrická energie z uhelných elektráren pro ohřev vody nahradí energií vyprodukovanou navrženým solárním systémem pro ohřev užitkové vody, bude životní prostředí ušetřeno od množství škodlivých emisí uvedeného v Tabulce 5.6-2, ve které jsou pro srovnání uvedeny hodnoty i zbylých navržených systémů. Množství ušetřených emisí je u všech systémů srovnatelné. Lze tedy říci, že všechny tyto navržené systémy šetří životní prostředí stejně. V tomto hodnocení nejsou zohledněny emise vypuštěné do ovzduší vzniklé při samotné výrobě těchto zařízení.

Závěr

V této diplomové práci jsou nejprve zahrnuty vlastnosti, možnosti použití, technické parametry a principy solárních systémů pro ohřev užitkové vody. Po teoretickém rozboru problematiky jsou zde navrženy 4 systémy pro ohřev užitkové vody. Dá se říci, že tyto návrhy jsou pouze teoretické, jelikož ve výpočtech při návrhu bylo počítáno se zprůměrovanými hodnotami z důvodu absence reálných či naměřených hodnot z této lokality. Výsledný navržený systém se tedy může chovat jinak, bude-li například chladné, nebo naopak velmi horké léto. Bohužel tyto aspekty nelze ovlivnit, nelze je tedy ani přesně vypočítat, a to je právě jedna z největších nevýhod těchto systémů.

Na základě těchto aspektů jsem navrhl solární systém s plochými kolektory SUNTIME 2.1 s kolektorovou plochou $16,2 \text{ m}^2$, který se bude využívat od dubna do září. Při jeho dimenzování jsem se snažil, aby tento systém pokryl přípravu teplé vody i v nejméně chladném měsíci září. Z tohoto důvodu má systém velkou kolektorovou plochu a v nejteplejších měsících produkuje přebytek tepla, které způsobí přehřívání systému. Proto jsem označil tento systém jako nepoužitelný a nepokračoval dále k jeho ekonomickému a environmentálnímu zhodnocení.

Poté jsem navrhl solární systém s plochými kolektory SUNTIME 2.1 s kolektorovou plochou $6,7 \text{ m}^2$, který se bude využívat po stejnou dobu. Při jeho dimenzování jsem vycházel z předešlých zkušeností a zmenšil tak kolektorovou plochu, která je ale dostatečně velká na to, aby zajistila ohřev vody od května do srpna. V dubnu a září bude vodu dohřívát sekundární zdroj tepla. V zimních měsících kolektory nebudou vodu dohřívát už vůbec a ohřev vody bude prováděn pouze sekundárním zdrojem tepla.

Solární systém s trubicovými kolektory Regulus KTU 9R2 s kolektorovou plochou $4,7 \text{ m}^2$ jsem navrhl a dimenzoval do stejných podmínek jako systém s plochými kolektory, aby bylo možné porovnat jejich vlastnosti. Systém s trubicovými kolektory ohřeje vodu na stejné teploty, přičemž má menší kolektorovou plochu. Navíc ohřívá vodu i v chladných měsících, kdy systém s plochými kolektory už nefunguje, a proto je tento systém i vhodnější na předehřev vody. Jednoduše řečeno, má větší využití než systém s plochými kolektory.

Jako poslední variantu jsem navrhl fotovoltaický systém pro ohřev vody s panely Amerisolar AS-6P30 250W o celkové ploše 20,9 m², který je také dimenzován do stejných podmínek. Tento systém bude sloužit pouze jako předehřev vody, bude tedy potřebovat dohřev vody sekundárním zdrojem tepla. Oproti předchozím systémům bude ale fungovat po celý rok díky své stálejší účinnosti. Z tohoto důvodu bude mít z těchto systémů i největší energetické zisky.

Nejvyšší pořizovací cenu má solární systém s plochými kolektory SUNTIME 2.1, o něco levnější je pak solární systém s trubicovými kolektory Regulus KTU 9R2. Tyto dva systémy mají stejné energetické zisky, ale lepší vlastnosti v chladných měsících a nižší pořizovací cena staví trubicový systém do popředí a určuje ho tak jako lepší variantu. Nejnižší pořizovací náklady má ovšem fotovoltaický systém, má i největší energetické zisky a díky své konstrukci a jednoduchosti se tento systém jeví jako nejlepší volbou pro modelový objekt. Solární systémy jsou totiž náročnější na provoz a údržbu. Teplonosná kapalina má omezenou životnost a po uplynutí 2 až 3 let je nutné ji vyměnit. Navíc tyto systémy jsou složitější konstrukce, jejich potrubní rozvody a další komponenty zvyšují pravděpodobnost poruchy. Vznikají zde i vyšší ztráty při přenosu energie z kolektorů do tepelného zásobníku než je tomu u fotovoltaických systémů. Na základě těchto uvedených skutečností usuzuji, že pro modelový objekt bude nejvýhodnější fotovoltaický systém.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] MURTINGER KAREL, TRUXA JAN., *SOLÁRNÍ ENERGIE PRO VÁŠ DŮM*. 1. vyd. Praha: ComputerPress, 2010.
- [2] SRDEČNÝ, Karel, TRUXA, Jan. *Obnovitelné zdroje energie v jižních Čechách a horním Rakousku*. Praha: EkoWATT, 2000. ISBN: 80-238-6584-6
- [3] www.profisolar.com
- [4] http://images.slideplayer.cz/8/2347529/slides/slide_10.jpg
- [5] <http://www.ekodum.cz/energy/sun/info.php>
- [6] <http://www.elektrozestrechy.cz/img/primdif.png>
- [7] <https://encryptedtbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQlzYlnXpsq6295vL83O>
- [8] <https://encryptedtbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTPwy0sbRk7OFuA1B4chX>
- [9] <https://encryptedtbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQunWk72ramQb6Jld1uQu>
- [10] <http://docplayer.cz/docs-images/25/6811805/images/32-0.png>
- [11] <http://oze.tzb-info.cz/docu/clanky/0065/006518o2.gif>
- [12] <http://www.iqenergy.cz/data/2015/07/29/19/solarni-panel-schema.png>
- [13] <http://www.ceska-solarni.cz/teplovzdušne-solarni-panely/>
- [14] <http://media.novinky.cz/812/268125-original1-1tn15.jpg>
- [15] <http://www.ekobonus.cz/files/images/content/trombeho-stena2.jpg>
- [16] http://i.idnes.cz/11/063/c15/REZ3c168f_a_20110428_IMG_00603_cmyk.jpg
- [17] <http://www.solarni-system.eu/obrazky/schemata/ovab.jpg>
- [18] http://www.montazkotlu.cz/img/obrazky/top/tuv_01-2.gif
- [19] <http://www.topeni-topenari.eu/media/img/solarni-vytapeni/solarni-kolektory-ploche-princip-05.jpg>
- [20] <http://www.koupelny-venta.cz/obrazky/prislusenstvi-k-zasobnikum-rbc-trubkovy-vymenik-0-94m2-3-4-quot-pro-rxbc-i-rxdc-300-pr-110mm-delka-400mm-41629.jpg>
- [21] <http://www.bcb-plzen.eu/alfalaval/vym6.jpg>
- [22] <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/137-solarni-zasobniky>
- [23] <http://www.tzb-info.cz/2641-solarni-soustavy-teorie-a-schemata-ii>
- [24] http://www.regulus.cz/img/_product.179/8912_3.jpg
- [25] http://www.topeni-solarni-ohrev.cz/_cms/gf/modules/catalogue/loga/prev_9584.jpg
- [26] http://eshop.terms.eu/_data/s_3386/files/image/schema_zapojen%C3%AD.jpg
- [27] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>
- [28] <http://www.propuls.cz/solarni-kolektor-2-1.html>
- [29] http://www.propuls.cz/obr/kolektor_suntime_2_1.jpg
- [30] <http://www.centropolenergy.cz/data/ceniky/elektrina/2014-01/BLIK-Domacnost-EON-2014.pdf>
- [31] <http://www.regulus.cz/download/tech-listy/cz/technicky-list-rdc-200-cz.pdf>
- [32] http://www.regulus.cz/download/tech-listy/cz/tl_cz_technicky-list_ktu9r2.pdf
- [33] file:///D:/Downloads/AmeriSolar-255Wp_datasheet.pdf
- [34] <http://www.svp-solar.cz/wp-content/uploads/2014/03/FV-bojler-n%C3%A1vod.pdf>

Přílohy

Příloha 1 – Solární kolektor SUNTIME 2.1 – technické parametry

Plocha apertury	1,84 m ²
Absorpční plocha	1,83 m ²
Vnější rozměr	1895 mm x 1063 mm
Krycí sklo	solární 4 mm, bezpečnostní
Připojovací rozměr	Cu trubka Ø 22 mm
Tepelná izolace	minerální vata 30 mm + PUR 20 mm
Objem teplotnosné kapaliny	1,1 l
Hmotnost	38 kg
Povrch absorberu	vysoceselektivní vrstva
Solární absorptivita	95 % ± 2 %
Emisivita při 100 °C	4 % ± 2 %
Doporučená pracovní teplota	do 100 °C
Maximální přetlak teplotnosné kapaliny	6 bar
Testovací tlak	10 bar
Doporučený průtok	40 – 120 l / h kolektor
Rám kolektoru	eloxovaný hliníkový profil
Stagnační teplota **	203 °C
Energetický zisk *	800 – 1200 kWh / rok
Optická účinnost (pro plochu apertury)	0,781
Lineární ztrátový součinitel (pro plochu apertury)	2,495 Wm ⁻² K ⁻¹
Kvadratický ztrátový součinitel (pro plochu apertury)	0,028 Wm ⁻² K ⁻²

Tabulka: Technické parametry solárního kolektoru SUNTIME 2.1 [28]



Obrázek Solární plochý kolektor SUNTIME 2.1 [29]

Příloha 2 – Výsledné teploty ohřáté vody systému SUNTIME 2.1 s kolektorovou plochou 16,2 m²

Květen				
Čas	I [W/m ²]	t_{vz} [°C]	η [-]	Δt [°C]
6:00	99	12,5	0	
7:00	204	14,1	0	
8:00	313	15,6	0,250	5,4
9:00	409	16,7	0,388	11,0
10:00	483	17,3	0,454	15,3
11:00	530	17,6	0,485	17,9
12:00	548	17,8	0,497	19,0
13:00	537	18,1	0,494	18,5
14:00	497	18,3	0,473	16,4
15:00	430	18,2	0,424	12,7
16:00	339	17,6	0,319	7,5
17:00	232	16,7	0,088	1,4
18:00	123	15,5	0	
Výsledná teplota:				100

Červen				
Čas	I [W/m ²]	t_{vz} [°C]	η [-]	Δt [°C]
6:00	118	15,9	0	
7:00	213	17,4	0,042	0,6
8:00	323	18,7	0,313	7,1
9:00	414	19,7	0,427	12,3
10:00	490	20,3	0,488	16,7
11:00	535	20,6	0,515	19,2
12:00	568	20,8	0,532	21,1
13:00	545	21,1	0,524	19,9
14:00	499	21,4	0,503	17,5
15:00	440	21,3	0,465	14,3
16:00	344	21	0,373	9,0
17:00	241	20,2	0,184	3,1
18:00	141	19,5	0	
Výsledná teplota:				100

Srpen				
Čas	I [W/m ²]	t_{vz} [°C]	η [-]	Δt [°C]
6:00	71	16,4	0	
7:00	178	18	0	
8:00	295	19,7	0,285	5,9
9:00	402	21	0,432	12,1
10:00	484	21,8	0,499	16,8
11:00	537	22,1	0,529	19,8
12:00	558	22,4	0,541	21,0
13:00	545	22,8	0,539	20,5
14:00	500	23	0,519	18,1
15:00	425	22,9	0,472	14,0
16:00	324	22,2	0,365	8,3
17:00	207	21,1	0,106	1,5
18:00	95	19,8	0	
Výsledná teplota:				100

Říjen				
Čas	I [W/m ²]	t_{vz} [°C]	η [-]	Δt [°C]
6:00	0	6,7	0	
7:00	21	7,8	0	
8:00	135	9,3	0	
9:00	239	10,6	0	
10:00	321	11,5	0,198	2,0
11:00	375	12	0,289	3,4
12:00	396	12,3	0,319	4,0
13:00	383	12,6	0,307	3,7
14:00	338	12,6	0,244	2,6
15:00	262	12,2	0,081	0,7
16:00	162	11,3	0	
17:00	52	10,1	0	
18:00	0	9,1		
Výsledná teplota:				26,5

Příloha 3 - Výsledné teploty ohřáté vody systému SUNTIME 2.1 s kolektorovou plochou 6,7 m²

Květen				
Čas	I [W/m ²]	t_{vz} [°C]	η [-]	Δt [°C]
6:00	99	12,5	0	
7:00	204	14,1	0	
8:00	313	15,6	0,250	2,3
9:00	409	16,7	0,388	4,6
10:00	483	17,3	0,454	6,3
11:00	530	17,6	0,485	7,4
12:00	548	17,8	0,497	7,9
13:00	537	18,1	0,494	7,6
14:00	497	18,3	0,473	6,8
15:00	430	18,2	0,424	5,3
16:00	339	17,6	0,319	3,1
17:00	232	16,7	0,088	0,6
18:00	123	15,5	0	
Výsledná teplota:				61,8

Červen				
Čas	I [W/m ²]	t_{vz} [°C]	η [-]	Δt [°C]
6:00	118	15,9	0	
7:00	213	17,4	0	0,3
8:00	323	18,7	0,313	2,9
9:00	414	19,7	0,427	5,1
10:00	490	20,3	0,488	6,9
11:00	535	20,6	0,515	7,9
12:00	568	20,8	0,532	8,7
13:00	545	21,1	0,524	8,2
14:00	499	21,4	0,503	7,2
15:00	440	21,3	0,465	5,9
16:00	344	21	0,373	3,7
17:00	241	20,2	0,184	1,3
18:00	141	19,5	0	
Výsledná teplota:				68,2

Srpen				
Čas	I [W/m ²]	t_{vz} [°C]	η [-]	Δt [°C]
6:00	71	16,4	0	
7:00	178	18	0	
8:00	295	19,7	0,285	2,4
9:00	402	21	0,432	5,0
10:00	484	21,8	0,499	7,0
11:00	537	22,1	0,529	8,2
12:00	558	22,4	0,541	8,7
13:00	545	22,8	0,539	8,5
14:00	500	23	0,519	7,5
15:00	425	22,9	0,472	5,8
16:00	324	22,2	0,365	3,4
17:00	207	21,1	0,106	0,6
18:00	95	19,8	0	
Výsledná teplota:				67

Říjen				
Čas	I [W/m ²]	t_{vz} [°C]	η [-]	Δt [°C]
6:00	0	6,7	0	
7:00	21	7,8	0	
8:00	135	9,3	0	
9:00	239	10,6	0	
10:00	321	11,5	0,198	1,8
11:00	375	12	0,289	3,1
12:00	396	12,3	0,319	3,6
13:00	383	12,6	0,307	3,4
14:00	338	12,6	0,244	2,4
15:00	262	12,2	0,081	0,6
16:00	162	11,3	0	
17:00	52	10,1	0	
18:00	0	9,1		
Výsledná teplota:				25

Příloha 4 – Výsledné teploty ohřáté vody systému Regulus KTU 9R2 s kolektorovou plochou 4,7 m²

Červen				
Čas	I [W/m ²]	t_{vz} [°C]	η [-]	Δt [°C]
6:00	118	15,9	0,006	0,0
7:00	213	17,4	0,334	1,4
8:00	323	18,7	0,470	3,1
9:00	414	19,7	0,528	4,4
10:00	490	20,3	0,558	5,5
11:00	535	20,6	0,572	6,2
12:00	568	20,8	0,581	6,7
13:00	545	21,1	0,577	6,3
14:00	499	21,4	0,566	5,7
15:00	440	21,3	0,546	4,8
16:00	344	21	0,499	3,5
17:00	241	20,2	0,403	2,0
18:00	141	19,5	0,176	0,5
Výsledná teplota:				60,1

Srpen				
Čas	I [W/m ²]	t_{vz} [°C]	η [-]	Δt [°C]
6:00	71	16,4	0	
7:00	178	18	0,268	1,0
8:00	295	19,7	0,455	2,7
9:00	402	21	0,529	4,3
10:00	484	21,8	0,563	5,5
11:00	537	22,1	0,578	6,3
12:00	558	22,4	0,584	6,6
13:00	545	22,8	0,583	6,4
14:00	500	23	0,573	5,8
15:00	425	22,9	0,548	4,7
16:00	324	22,2	0,494	3,2
17:00	207	21,1	0,362	1,5
18:00	95	19,8	0	
Výsledná teplota:				58

Březen				
Čas	I [W/m ²]	t_{vz} [°C]	η [-]	Δt [°C]
6:00	0,00	1,5		
7:00	74	2,7	0	
8:00	176	4,3	0,088	0,3
9:00	270	5,7	0,316	1,7
10:00	343	6,6	0,405	2,8
11:00	390	7,2	0,445	3,5
12:00	409	7,7	0,460	3,8
13:00	398	8,2	0,456	3,7
14:00	358	8,4	0,430	3,1
15:00	291	8,1	0,363	2,1
16:00	201	7,1	0,197	0,8
17:00	99	5,8	0	
18:00	0	4,5		
Výsledná teplota:				31,8

Říjen				
Čas	I [W/m ²]	t_{vz} [°C]	η [-]	Δt [°C]
6:00	0	6,7		
7:00	21	7,8	0	
8:00	135	9,3	0	0,0
9:00	239	10,6	0,312	1,5
10:00	321	11,5	0,419	2,7
11:00	375	12	0,464	3,5
12:00	396	12,3	0,479	3,8
13:00	383	12,6	0,473	3,7
14:00	338	12,6	0,441	3,0
15:00	262	12,2	0,361	1,9
16:00	162	11,3	0,134	0,4
17:00	52	10,1	0	
18:00	0	9,1		
Výsledná teplota:				30,5

Příloha 5 – ceník elektřiny společnosti CENTROPOL ENERGY a.s.

Název produktu	D BLIK 24	D BLIK AKU 8	D BLIK AKU 16	D BLIK průmotop	D BLIK TČ	D BLIK víkend
Cena silové elektřiny						
Vysoký tarif	Kč/MWh 1 193,00 <small>1 463,55</small>	Kč/MWh 1 193,00 <small>1 463,55</small>	Kč/MWh 1 491,00 <small>1 861,11</small>	Kč/MWh 1 491,00 <small>1 861,11</small>	Kč/MWh 1 563,00 <small>1 897,25</small>	Kč/MWh 1 428,00 <small>1 727,86</small>
Nízký tarif	Kč/MWh 75,00 <small>90,75</small>	Kč/MWh 75,00 <small>90,75</small>	Kč/MWh 875,00 <small>1 068,75</small>	Kč/MWh 875,00 <small>1 068,75</small>	Kč/MWh 1 068,00 <small>1 281,25</small>	Kč/MWh 1 241,00 <small>1 507,81</small>
Fixní cena	Kč/měsíc 75,00 <small>90,75</small>	Kč/měsíc 75,00 <small>90,75</small>	Kč/měsíc 75,00 <small>90,75</small>	Kč/měsíc 75,00 <small>90,75</small>	Kč/měsíc 75,00 <small>90,75</small>	Kč/měsíc 75,00 <small>90,75</small>
Cena distribuční elektřiny						
Cena za jednotku bez DPH 6 DPH						
Cena za oddělení VT	Kč/MWh 2 219,28 <small>2 665,33</small>	Kč/MWh 1 650,87 <small>2 009,65</small>	Kč/MWh 1 731,93 <small>2 095,64</small>	Kč/MWh 590,23 <small>702,08</small>	Kč/MWh 290,03 <small>302,54</small>	Kč/MWh 250,03 <small>302,54</small>
Cena za oddělení NT	Kč/MWh 0,00 <small>0,00</small>	Kč/MWh 0,00 <small>0,00</small>	Kč/MWh 36,38 <small>44,02</small>	Kč/MWh 36,38 <small>44,02</small>	Kč/MWh 44,02 <small>54,02</small>	Kč/MWh 36,38 <small>44,02</small>
Cena za systémovou službu						
Kč/MWh	119,25	144,29	119,25	144,29	119,25	144,29
Cena na podporu výkupu elektřiny						
Kč/MWh	495,00	598,95	495,00	598,95	495,00	598,95
Cena za činnosti zúčtování OTE						
Kč/MWh	7,55	9,14	7,55	9,14	7,55	9,14
Cena za přenos podle velikosti množství jističe						
Jistič nad 3x10 A do 1x25 A včetně	Kč/měsíc 6,00 <small>7,26</small>	Kč/měsíc 27,00 <small>32,67</small>	Kč/měsíc 42,00 <small>50,82</small>	Kč/měsíc 81,00 <small>98,01</small>	Kč/měsíc 102,00 <small>123,42</small>	Kč/měsíc 120,00 <small>145,20</small>
Jistič nad 3x10 A do 3x16 A včetně	Kč/měsíc 10,00 <small>12,10</small>	Kč/měsíc 43,00 <small>52,03</small>	Kč/měsíc 67,00 <small>81,07</small>	Kč/měsíc 130,00 <small>157,30</small>	Kč/měsíc 163,00 <small>197,23</small>	Kč/měsíc 192,00 <small>232,32</small>
Jistič nad 3x16 A do 3x20 A včetně	Kč/měsíc 12,00 <small>14,52</small>	Kč/měsíc 54,00 <small>65,34</small>	Kč/měsíc 84,00 <small>101,54</small>	Kč/měsíc 162,00 <small>196,02</small>	Kč/měsíc 204,00 <small>246,84</small>	Kč/měsíc 240,00 <small>290,40</small>
Jistič nad 3x20 A do 3x25 A včetně	Kč/měsíc 15,00 <small>18,15</small>	Kč/měsíc 63,00 <small>82,38</small>	Kč/měsíc 105,00 <small>127,05</small>	Kč/měsíc 203,00 <small>245,63</small>	Kč/měsíc 308,00 <small>369,55</small>	Kč/měsíc 363,00 <small>441,81</small>
Jistič nad 3x25 A do 3x32 A včetně	Kč/měsíc 19,00 <small>22,99</small>	Kč/měsíc 85,00 <small>104,05</small>	Kč/měsíc 134,00 <small>162,14</small>	Kč/měsíc 259,00 <small>313,39</small>	Kč/měsíc 394,00 <small>480,05</small>	Kč/měsíc 464,00 <small>565,77</small>
Jistič nad 3x32 A do 3x40 A včetně	Kč/měsíc 24,00 <small>29,04</small>	Kč/měsíc 108,00 <small>130,69</small>	Kč/měsíc 168,00 <small>203,28</small>	Kč/měsíc 324,00 <small>392,64</small>	Kč/měsíc 493,00 <small>600,00</small>	Kč/měsíc 580,00 <small>705,00</small>
Jistič nad 3x40 A do 3x50 A včetně	Kč/měsíc 30,00 <small>36,30</small>	Kč/měsíc 135,00 <small>163,35</small>	Kč/měsíc 210,00 <small>254,10</small>	Kč/měsíc 405,00 <small>490,05</small>	Kč/měsíc 617,10 <small>756,00</small>	Kč/měsíc 726,00 <small>889,80</small>
Jistič nad 3x50 A do 3x63 A včetně	Kč/měsíc 38,00 <small>45,98</small>	Kč/měsíc 170,00 <small>205,70</small>	Kč/měsíc 265,00 <small>320,65</small>	Kč/měsíc 510,00 <small>617,10</small>	Kč/měsíc 778,03 <small>943,24</small>	Kč/měsíc 914,76 <small>1 117,76</small>
Jistič nad 3x63 A za každou 1 A	Kč/měsíc 0,60 <small>0,73</small>	Kč/měsíc 2,70 <small>3,27</small>	Kč/měsíc 4,20 <small>5,08</small>	Kč/měsíc 8,10 <small>9,80</small>	Kč/měsíc 10,20 <small>12,34</small>	Kč/měsíc 12,00 <small>14,52</small>
Jistič nad 1x25 A za každou 1 A	Kč/měsíc 0,20 <small>0,24</small>	Kč/měsíc 0,90 <small>1,09</small>	Kč/měsíc 1,40 <small>1,69</small>	Kč/měsíc 2,70 <small>3,27</small>	Kč/měsíc 3,40 <small>4,11</small>	Kč/měsíc 4,00 <small>4,84</small>
Dat z elektřiny						
Dat z elektřiny	Kč/MWh 28,30 <small>34,24</small>	Kč/MWh 28,30 <small>34,24</small>	Kč/MWh 28,30 <small>34,24</small>	Kč/MWh 28,30 <small>34,24</small>	Kč/MWh 28,30 <small>34,24</small>	Kč/MWh 28,30 <small>34,24</small>
Celková jednotková cena						
Vysoký tarif	Kč/MWh 4 052,38 <small>4 915,48</small>	Kč/MWh 3 503,97 <small>4 226,40</small>	Kč/MWh 3 873,03 <small>4 688,57</small>	Kč/MWh 2 721,33 <small>3 302,81</small>	Kč/MWh 2 463,13 <small>2 981,30</small>	Kč/MWh 2 308,13 <small>2 817,04</small>
Nízký tarif	Kč/MWh - <small>4 915,48</small>	Kč/MWh - <small>4 226,40</small>	Kč/MWh 1 551,48 <small>1 881,30</small>	Kč/MWh 1 551,48 <small>1 881,30</small>	Kč/MWh 1 754,48 <small>2 122,02</small>	Kč/MWh 1 927,48 <small>2 332,25</small>
Fixní cena	Kč/měsíc - <small>4 915,48</small>	Kč/měsíc - <small>4 226,40</small>	Kč/měsíc 75,00 <small>90,75</small>	Kč/měsíc 75,00 <small>90,75</small>	Kč/měsíc 75,00 <small>90,75</small>	Kč/měsíc 75,00 <small>90,75</small>
Centropol Energy, a.s. Vaníčkova 1594/1, 400 01 Ústí nad Labem Tel.: +420 840 222 222, Fax: +420 475 210 000, www.centropol.cz						

Obrázek: Ceník elektřiny společnosti CENTROPOL ENERGY a.s. [30]

Příloha 6 – Zásobníkový ohřivač vody Regulus RDC 200 – technické parametry

Zásobníkový ohřivač vody Regulus RDC 200



Čistkový
Objem TV v zásobníku:	213 l
Objem kapaliny ve výměníku :	7,0 l
Plocha výměníku :	1,0 m²
Maximální provozní teplota v zásobníku :	95 °C
Maximální provozní teplota ve výměníku :	110 °C
Maximální provozní tlak zásobníku :	10 bar
Maximální provozní tlak ve výměníku :	10 bar
Příprava TV z 10°C na 45°C při teplotě otopné vody 60°C :	590 l/h (24 kW)
Hmotnost prázdného zásobníku :	97 kg

Obrázek: Zásobníkový ohřivač vody Regulus RDC 200 [31]

Příloha 7 – Solární kolektor Regulus KTU 9R2 – technické parametry


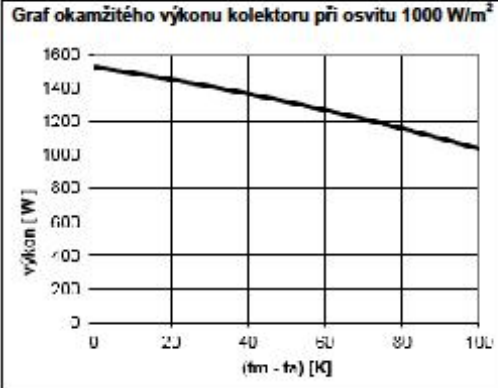

Regulus

TECHNICKÝ LIST

v1.2.0_02/2016

str. 1/1

Solární kolektor KTU 9R2

	Objednací kód	7 542
	Rozměry a váhy	
výška x šířka x tloušťka	1970 x 1350 x 141 mm	
stavební šířka	1430 mm	
celková plocha	2,66 m ²	
plocha apertury	2,15 m ²	
plocha absorberu	0,73 m ²	
hmotnost bez kapaliny	44 kg	
Zasklení		
materiál	borosilikátové sklo	
tloušťka	1,8 mm	
Absorbér		
materiál	borosilikátové sklo	
povrchová úprava	AlN/Al-N/Al-N/Al-N/Al-N	
konstrukční typ	trubicový, vakuový s reflektorem	
materiál přípojovacích trubek	měď	
rozměr přípojovacích trubek	4 x Ø 22 mm x 1 mm	
materiál trubek absorberu	měď	
rozměr trubek absorberu	9 x Ø 8 mm x 0,5 mm	
maximální pracovní tlak	6 bar	
maximální pracovní teplota	120 °C	
stagnační teplota	255 °C	
teplonosná kapalina	vodní roztok propylenglykolu (1,37 l)	
doporučený průtok	60 – 120 l/h	
Tepečná izolace		
materiál izolace	minerální vlna	
tloušťka izolace	20 mm	
Rám		
materiál rámu	hliníková slitina + ocel AISI 304 SS	
barva rámu	stříbrná	
materiál skříně	ocel AISI 304 SS, š. 0,8 mm	
Okamžitá účinnost na absorber / aperturu / celk. plochu		
η_{sk} [-]	2,085	0,708
a_{sk} [W/m ² K]	4,620	1,570
a_{sk} [W/m ² K ²]	0,019	0,007
Maximální výkon kolektoru při osvitu 1000 W/m²		
Q_{max}	1522 W	
Modifikátor úhlu dopadu		
$K_{\text{0,50}}$	0,92	
Tepečná kapacita		
C	27,4 J/kg	
Testováno podle ČSN EN ISO 9806		
Graf okamžitého výkonu kolektoru při osvitu 1000 W/m²		
		
Graf tlakové ztráty kolektoru		
		

REGULUS spol. s r.o.
Do Koutů 1897/3, 143 00 Praha 4Tel.: +420 241 764 506
Fax: +420 241 763 976E-mail: regulus@regulus.cz
Web: www.regulus.cz

Obrázek: Technické parametry solárního kolektoru Regulus KTU 9R2[32]

Příloha 8 – fotovoltaický panel Ameriosolar AS-6P30 250W – technické parametry

Electrical Characteristics

Electrical parameters at STC							
Nominal Power (P_{max})	235W	240W	245W	250W	255W	260W	265W
Open Circuit Voltage (V_{oc})	37.5V	37.7V	37.9V	38.0V	38.1V	38.2V	38.3V
Short Circuit Current (I_{sc})	8.48A	8.57A	8.66A	8.75A	8.83A	8.90A	8.98A
Voltage at Nominal Power (V_{mp})	29.7V	29.9V	30.1V	30.3V	30.5V	30.7V	30.9V
Current at Nominal Power (I_{mp})	7.92A	8.03A	8.14A	8.26A	8.37A	8.47A	8.58A
Module Efficiency (%)	14.44	14.75	15.06	15.37	15.67	15.98	16.29

STC: Irradiance 1000W/m², Cell temperature 25°C, AM1.5

Electrical parameters at NOCT							
Nominal Power (P_{max})	172W	175W	179W	183W	186W	190W	194W
Open Circuit Voltage (V_{oc})	34.5V	34.7V	34.9V	35.0V	35.1V	35.2V	35.3V
Short Circuit Current (I_{sc})	6.87A	6.94A	7.01A	7.09A	7.15A	7.21A	7.27A
Voltage at Nominal Power (V_{mp})	27.0V	27.2V	27.4V	27.6V	27.8V	27.9V	28.1V
Current at Nominal Power (I_{mp})	6.38A	6.44A	6.54A	6.64A	6.70A	6.81A	6.91A

NOCT: Irradiance 800W/m², Ambient temperature 20°C, Wind speed 1 m/s**Mechanical Characteristics**

Cell type	Polycrystalline 156x156mm
Number of cells	60 (6x10)
Module dimension	1640x992x40mm
Weight	18.5kg
Front cover	3.2mm low-iron tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy
Junction box	IP67, 6 diodes
Cable	4mm ² , 900mm
Connector	MC4 or MC4 compatible
Standard packaging	26pcs/pallet
Module quantity per container	728pcs/40'HQ

Temperature Characteristics

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45°C±2°C
Temperature Coefficients of P_{max}	-0.43%/°C
Temperature Coefficients of V_{oc}	-0.33%/°C
Temperature Coefficients of I_{sc}	0.056%/°C

Maximum Ratings

Operating Temperature	-40°C to +85°C
Maximum System Voltage	1000V DC
Maximum Series Fuse Rating	15A

Obrázek: Technické parametry fotovoltaického panelu Ameriosolar AS-6P30 250 W [33]

Příloha 9 – Zásobníkový ohříváč vody Dražice LX ACDC/M+K 200 – technické parametry

Popis označení

LX ACDC/M+K ABC 200

LX ACDC/M+KW ABC 200

LX..... typové označení

ACDC topná jednotka

na střídavý i stejnosměrný proud
M..... označení pro ohříváč se stykačem
který umožňuje přepnout po ohřátí
zásobníku na měnič (do sítě)

K..... zásobník s teplovodním výměníkem

W..... zásobník s teplovodním výměníkem
v horní části zásobníku

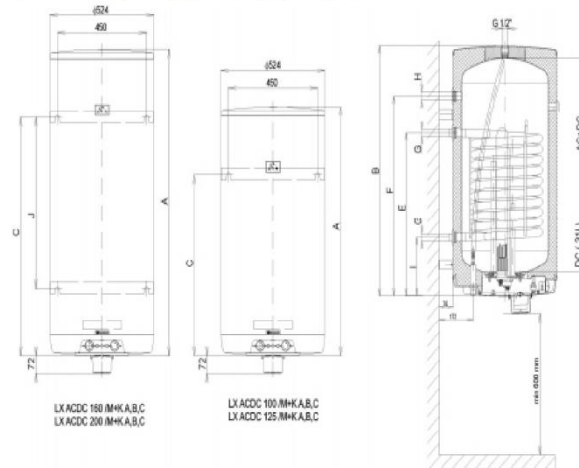
A,B,C..... výkonová řada topné patrony
na fotovoltaiku

A..... 1kW

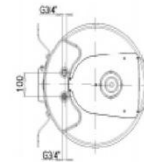
B..... 1,5kW

C..... 2 kW

200..... objem zásobníku



	LX ACDC 100/M+K A,B,C	LX ACDC 125/M+K A,B,C	LX ACDC 160/M+K A,B,C	LX ACDC 200/M+K A,B,C
A	881	1046	1235	1287
B	876	1041	1230	1282
C	636	801	1005	793
D	524	524	524	584
E	701	701	701	685
F	551	551	831	895
G	G1"	G1"	G1"	G1"
H	G3/4"	G3/4"	G3/4"	G3/4"
I	261	261	261	245
J	-	-	815	600



Obrázek: Zásobníkový ohříváč Dražice LX ACDC/M+K 200 [34]