

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Návrh solárního systému pro zásobování rodinného domu
TUV**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2012/2013

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

Jméno a příjmení: **Bc. Michal POPOVIČ**
Osobní číslo: **E10N0077P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Návrh solárního systému pro zásobování rodinného domu TUV**
Zadávající 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. Popište možnosti využití solární energie pro ohřev TUV
2. Navrhněte solární systém pro konkrétní rodinný dům
3. Zhodnoťte návrh systémů po stránce energetické, ekonomické a ekologické

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.


Vedoucí diplomové práce: **Prof. Ing. Jan Škorpil, CSc.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2012**

Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2013**


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




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

V Plzni dne 15. října 2012

Návrh solárního systému pro zásobování rodinného domu TUV

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na zpracování návrhu solárního systému pro ohřev teplé vody rodinného domu. Práce nejprve charakterizuje solární energii jako takovou, popisuje Slunce a energii slunečního záření dopadající na zemský povrch. Charakterizuje jednotlivé druhy slunečního záření a jejich využití pro ohřev vody. Dále popisuje solární systémy pro ohřev vody a jejich nejdůležitější solární komponenty. V práci je také provedeno porovnání klasického termického ohřevu vody s možností využití fotovoltaických panelů. V konkrétním návrhu pro rodinný dům je proveden výpočet množství dopadající energie, účinnost kolektorů a množství získané energie z nich. Z výpočtu je stanovena plocha kolektorů a je proveden výpočet solárního zásobníku. Z vypočtených hodnot jsou navrženy komponenty pro solární systém. V závěru práce je provedeno zhodnocení solárního systému z hlediska energetického, ekonomického a ekologického.

Klíčová slova

Sluneční záření, solární konstanta, přímé sluneční záření, difúzní sluneční záření, intenzita slunečního záření, solární systém, ohřev vody, komponenty solárního systému, solární kolektor, solární zásobník, účinnost kolektoru, ekonomická bilance, návratnost.

Design solar systems for domestic hot water preparing in family house

Abstract

This master thesis is focused on processing the concept of the solar system for heating hot water for a house. At first, the thesis describes the solar energy itself, describes the Sun and solar energy falling on the Earth's surface. Then it describes the types of solar radiation and their use for water heating. It also describes solar systems for water heating and their main components. The work also includes comparison of the classical thermal water heating with the ability of using photovoltaic panels. In proposal of concrete house is the calculation of the amount of energy, energy efficiency of the collectors and the amount of energy gained from them. From the calculation is determined the collector size and a calculation of the solar tank. From the calculated values are designed main components for the solar system. At the end is an evaluation of the solar system in energetic way, economic way and environmental way.

Key words

Solar radiation, solar constant, direct solar radiation, indirect solar radiation, solar intensity, solar system, water heating, components solar system, solar collector, solar accumulator, collector efficiency, economic balance, economic return.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

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.

V Plzni dne 7.5.2013

Jméno a příjmení

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Prof. Ing. Janu Škorpilovi, Csc. za cenné profesní rady, připomínky a metodické vedení práce.

Dále bych chtěl poděkovat Ing. Jiřímu Popovičovi za ochotnou spolupráci na daném projektu.

Nemalý dík patří i mé rodině, která mě během celého studia podporovala.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	11
1 CHARAKTERISTIKA SOLÁRNÍ ENERGIE	12
1.1 SLUNCE	12
1.2 ENERGIE SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ.....	13
1.3 DRUHY SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ.....	14
1.3.1 Součinitel znečištění atmosféry	14
1.3.2 Přímé sluneční záření.....	15
1.3.3 Difúzní sluneční záření.....	15
1.3.4 Globální záření	16
1.4 PARAMETRY URČUJÍCÍ POLOHU SLUNCE NAD OBZOREM	16
1.5 TEORETICKY MOŽNÉ MNOŽSTVÍ ENERGIE DOPADAJÍCÍ NA OSLUNĚNOU PLOCHU.....	17
2 SOLÁRNÍ SYSTÉMY PRO OHŘEV VODY	20
2.1 VYUŽÍVÁNÍ SOLÁRNÍ ENERGIE PRO OHŘEV VODY A VZDUCHU	20
2.1.1 Ohřev vody v bazénech	20
2.1.2 Ohřev užitkové vody v letním a přechodném období.....	21
2.1.3 Solární vytápění	22
2.2 KOMPONENTY SOLÁRNÍHO SYSTÉMU.....	23
2.2.1 Solární kolektor.....	24
2.2.2 Solární zásobník.....	26
2.2.3 Tepelné výměníky.....	28
2.2.4 Čerpadlová skupina	29
2.2.5 Řízení a regulace.....	29
2.2.6 Teplonosné médium	30
2.2.7 Potrubní rozvod	30
2.3 ZPŮSOBY PROVOZU SOLÁRNÍHO SYSTÉMU PRO OHŘEV VODY	32
2.3.1 High – Flow	32
2.3.2 Low – Flow	32
2.3.3 Matched – Flow	33
2.3.4 Drain – Back.....	33
2.4 FOTOVOLTAICKÝ OHŘEV VODY	33
2.4.1 Porovnání dvou referenčních sestav.....	35
3 STÁVAJÍCÍ STAV OBJEKTU	37
3.1 FOTOGRAFIE A PŮDORYS OBJEKTU	37
3.2 POLOHA A POPIS OBJEKTU.....	39
3.3 PŘÍPRAVA TUV	39
3.4 VYTÁPĚNÍ.....	40
3.5 VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT OBJEKTU	41
3.5.1 Výpočet tepelných ztrát objektu před rekonstrukcí	42
3.5.2 Výpočet tepelných ztrát objektu po provedení rekonstrukce	44
4 NÁVRH SOLÁRNÍHO SYSTÉMU PRO OHŘEV TUV	47
4.1 SOLÁRNÍ POTENCIÁL PRO OBEC KRÁTKÁ VES	47
4.1.1 Úhel dopadu slunečních paprsků v obci Krátká Ves.....	49
4.1.2 Intenzita přímého záření na plochu kolektoru v obci Krátká Ves	50
4.1.3 Intenzita difúzního záření na plochu kolektoru v obci Krátká Ves.....	51
4.1.4 Výsledná intenzita záření pro obec Krátká Ves	51

4.1.5	Výsledný solární potenciál pro obec Krátká Ves	53
4.2	ÚČINNOST KOLEKTORU	55
4.2.1	Optické ztráty kolektoru.....	56
4.2.2	Tepelné ztráty kolektoru.....	57
4.3	VÝPOČET ÚČINNOSTI SOLÁRNÍHO KOLEKTORU SUNTIME 2.1.....	58
4.4	NÁVRH ZÁSOBNÍKU TUV	59
4.5	NÁVRH POČTU SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ	60
4.5.1	Tepelná energie získaná kolektory.....	61
4.6	URČENÍ TEPELNÉ BILANCE SYSTÉMU PRO OHŘEV TUV	63
5	VOLBA KOMPONENT PRO NAVRHOVANÝ OHŘEV TUV	64
5.1	SCHÉMA NAVRHOVANÉHO SOLÁRNÍHO SYSTÉMU	64
5.2	VOLBA SOLÁRNÍHO KOLEKTORU	65
5.2.1	Solární kolektor Suntime 2.1.....	66
5.2.2	Srovnání solárního kolektoru Suntime 2.1 s kolektorem Regulus KPH1	67
5.3	VOLBA SOLÁRNÍHO ZÁSOBNÍKU	69
5.3.1	Zásobník teplé vody Dražice OKC 300 NTRR/SOL.....	71
5.4	VOLBA SOLÁRNÍ ČERPADLOVÉ SKUPINY	72
5.4.1	Solární čerpadlová skupina FV 70 Tacosol ZR	72
5.5	VOLBA EXPANZNÍ NÁDOBY	74
5.5.1	Expanzní nádoba Reflex S 33.....	74
5.6	VOLBA SOLÁRNÍ REGULACE	75
5.6.1	Solární regulátor Steca TR 0301.....	75
6	ZHODNOCENÍ NAVRHOVANÉHO SOLÁRNÍHO SYSTÉMU	76
6.1	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	76
6.1.1	Investiční náklady	76
6.1.2	Rozdělení investičních nákladů podle velikosti soustavy	78
6.1.3	Provozní náklady	78
6.1.4	Doba životnosti solárního systému.....	79
6.1.5	Návratnost solárního systému.....	79
6.1.6	Návratnost solárního systému bez státní dotace	80
6.1.7	Návratnost solárního systému se státní dotací.....	80
6.2	ENERGETICKÉ ZHODNOCENÍ	80
6.2.1	Energetická amortizace.....	80
6.2.2	Porovnání nákladů různých zdrojů tepla pro ohřev vody	81
6.3	EKOLOGICKÉ ZHODNOCENÍ.....	82
	ZÁVĚR.....	83
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....	84
	PŘÍLOHY.....	1

Úvod

Jelikož stále roste světový hlad po energii a zásoby paliv se tenčí, žije dnešní svět ve znamení růstu energetické náročnosti. Na vině není jen moderní styl života a stále větší uplatnění technologií, ale velký vliv má i růst populace, zejména Číny nebo Indie. Do roku 2030 poroste světová spotřeba energie o 1,7% ročně, stoupne výroba elektřiny a poroste i doprava. Od vyhlášení těžebních limitů (Severočeská pánev) v roce 1991 uplynulo necelých 22 let a dlouho neřešený problém nás najednou začíná trápit. Skutečností je, že k náhradě cca. 12 mil. tun hnědého uhlí využívaného v teplárnách by bylo třeba cca 17 mil. tun biomasy, což je zhruba desetinásobek stávající produkce. Proto je nutná větší podpora výstavby solárních termických systémů pro rodinné domy, které tak nejen ušetří náklady provozu domácností, ale zároveň ušetří i fosilní paliva pro výrobu tepla.

Růst cen energií stále pokračuje a výdaje domácností na přípravu teplé vody neustále stoupají, proto jsem si jako téma své diplomové práce vybral návrh solárního systému na ohřev vody rodinného domu. Cílem předkládané práce je zvolit optimální solární systém pro dvoučlennou domácnost. Navržený systém by měl investorovi ušetřit náklady na přípravu teplé vody během roku.

Seznam symbolů a zkratek

a	.....	azimut [°]
A	.....	vztažná plocha[m ²]
c	.....	měrná tepelná kapacita[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]
h	.....	výška slunce nad obzorem [°]
k	.....	součinitel prostupu tepla [W·m ⁻² ·K ⁻¹]
n	.....	počet dnů [1]
q	.....	měrný tepelný tok [W·m ⁻²]
r	.....	reflexní schopnost [1]
t	.....	teplota [°C]
H	.....	nadmořská výška [m]
I	.....	intenzita záření [W·m ⁻²]
I_0	.....	sluneční konstanta [W·m ⁻²]
Q	.....	tepelná energie [J, Wh, kWh]
S	.....	plocha [m ²]
V	.....	objem [m ³]
Z	.....	součinitel znečištění atmosféry [-]
α	.....	rovinný úhel [°]
γ	.....	úhel dopadu slunečních paprsků [°]
η	.....	účinnost [1]
ρ	.....	hustota [kg·m ⁻³]
τ	.....	časová konstanta [s]
TUV	.....	teplá užitková voda
TV	.....	teplá voda
AC	.....	střídavý proud
DC	.....	stejnoseměrný proud
HDO	.....	hromadné dálkové ovládání
TZ	.....	tepelné ztráty
EPDM	.....	etyl-propylen-dien-monomer, syntetický kaučuk
ÚT	.....	ústřední topení
ČSN	.....	Česká státní norma
EN	.....	Evropská norma

1 Charakteristika solární energie

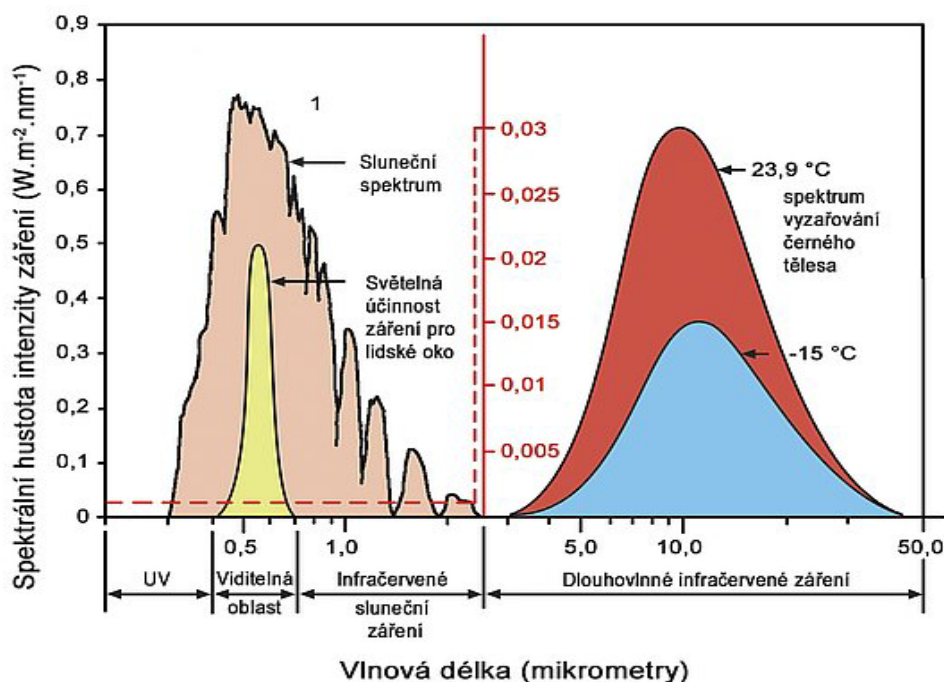
Solární energii označujeme energií, která dopadá na Zemi ve formě slunečního záření. Toto záření pochází od naší nejbližší hvězdy Slunce.

1.1 Slunce

Sympatie lidí ke slunci je pradávna. Snad každý je rád, když se na obloze roztrhnou mračna, objeví se sluneční kotouč a jeho paprsky nás příjemně hřejí. Tento jev má výrazný vliv na naši psychiku a je významný i po stránce fyziologické, např. zvyšuje v těle tvorbu vitamínu D.

Slunce má tvar koule s průměrem 1 400 000 km, což je 109 krát více než je průměr Země. Hmotnost Slunce je $1,983 \cdot 10^{30}$ kg, tj. 330 000 krát větší než je hmotnost Země. Teplota na povrchu Slunce dosahuje přibližně hodnoty 6 000 K. Celkový tok energie, který Slunce vyzařuje do kosmického prostoru, je $3,85 \cdot 10^{26}$ W. [4]

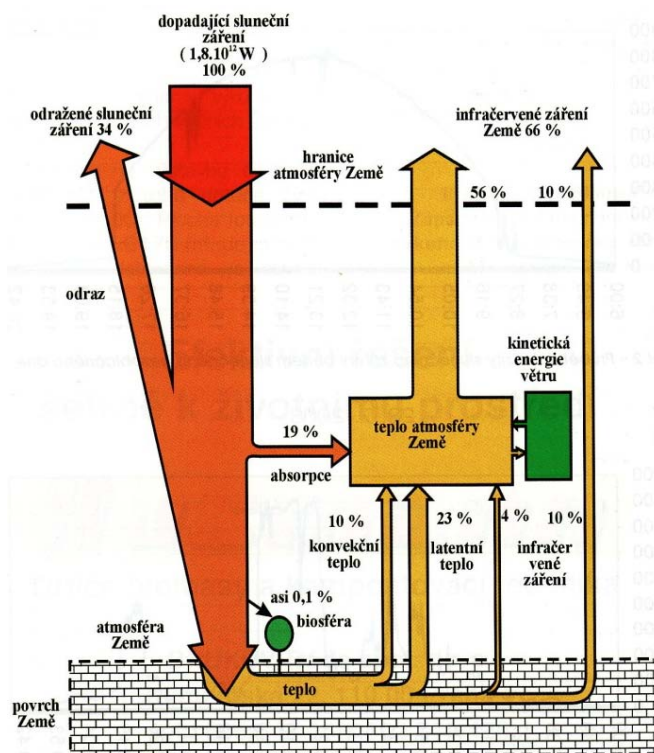
Povrch Slunce vyzařuje energii jako „absolutně černé těleso“ tzn., že vysílá paprsky v celém rozsahu spektra od 10^{-10} m (ultrafialové) až do metrových délek (rádiové záření). Největší část ovšem připadne na vlnové délky $0,2 \cdot 10^{-6}$ až $3 \cdot 10^{-6}$ m, což je pro nás příznivé, protože se jedná o světelné a infračervené záření viz obr. 1.1. [1]



Obr. 1.1 Spektrální hustota toku slunečního záření, které dopadá na 1m^2 vodorovné plochy na 50° severní šířky [18]

1.2 Energie slunečního záření

Sluneční záření urazí k Zemi vzdálenost 150 milionů km bez pohlcování, odrazů a přichází na hranici atmosféry Země v původní podobě, ale se zmenšenou intenzitou vlivem rozptýlení záření do všech směrů. Na plochu kolmou ke slunečním paprskům dopadá na povrch atmosféry měrný tok $1\,360\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, což je tzv. sluneční konstanta. Z celkového výkonu, které Slunce vyzařuje, dopadne na Zemi jen nepatrná část asi $1,8 \cdot 10^{12}\text{ W}$ viz obr.1.2.



Obr. 1.2 Rozložení dopadající energie slunečního záření v atmosféře [1]

Zemská atmosféra sahá až do výšky přes 1 000 km, je to poměrně tenká vrstva řídky vyplněna vzduchem, především kyslíkem a dusíkem. Ve výšce nad 60 km pohlcují tyto plyny převážně ultrafialové a rentgenové záření. Pohlceným ultrafialovým zářením se atmosféra ohřívá. V ionosféře a ozonosféře se zachycuje ta část slunečního záření, která je nebezpečná životu na Zemi. V nejnižších vrstvách atmosféry, kde je soustředěno více než 75% z celkové hmoty vzduchu, dochází k pohlcování záření prachem, mraky, vodní parou, oxidem uhličitým a kapkami vody. Z celkového toku se v atmosféře pohltí 19% záření a 34% se odrazí. Na zemský povrch tedy připadne přibližně 47% energie. [2]

1.3 Druhy slunečního záření

Slunce vyzařuje do kosmického prostoru paprsky vlnových délek od 10^{-10} do 10^3 m. Pro nás jsou významné zejména vlnové délky $0,2 \cdot 10^{-6}$ až $3 \cdot 10^{-6}$ m (0,2 až 3 μ m). Půchod em paprsků atmosférou se intenzita záření zmenšuje vlivem odrazem o molekuly plynů a částičky prachu ve vzduchu. Mírou tohoto zmenšení intenzity slunečního záření je tzv. součinitel znečištění. [1]

1.3.1 Součinitel znečištění atmosféry

Závisí na obsahu příměsí ve vzduchu a na atmosférickém tlaku (nadmořské výšce). Součinitel znečištění atmosféry je definován Linkeho vztahem: [1]

$$Z = \frac{\ln I_0 - \ln I_n}{\ln I_0 - \ln I_c} \quad [-]$$

kde: I_0 – sluneční konstanta

I_n – intenzita záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při daném znečištění

I_c – intenzita záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při čistém ovzduší

Na venkově, kde je čistší vzduch, je součinitel Z menší než ve městech se značnou koncentrací exhalací. S přibývajícím nadmořskou výškou se součinitel Z snižuje viz tab. 1.1.

Měsíc	Průměrné měsíční hodnoty součinitele Z pro oblasti s rozdílnou čistotou ovzduší			
	horské oblasti	venkov	města	průmyslové oblasti
I.	1,5	2,1	3,1	4,1
II.	1,6	2,2	3,2	4,3
III.	1,8	2,5	3,5	4,7
IV.	1,9	2,9	4,0	5,3
V.	2,0	3,2	4,2	5,5
VI.	2,3	3,4	4,3	5,7
VII.	2,3	3,5	4,4	5,8
VIII.	2,3	3,3	4,3	5,7
IX.	2,1	2,9	4,0	5,3
X.	1,8	2,6	3,6	4,9
XI.	1,6	2,3	3,3	4,5
XII.	1,5	2,2	3,1	4,2
roční průměr	1,9	2,75	3,75	5,0

Tab. 1.1 Průměrný měsíční součinitel znečištění atmosféry [1]

1.3.2 Přímé sluneční záření

Intenzita přímého záření na plochu kolmou ke směru paprsků:

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

kde: I_0 – sluneční konstanta ($1\,360 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$)

Z – součinitel znečištění atmosféry

ε – součinitel, který závisí na výšce slunce nad obzorem a na nadmořské výšce daného místa

Součinitel ε lze podle Heindla a Kocha vyjádřit vztahem: [1]

$$\varepsilon = \frac{9,380\,76 [\sin h + (0,003 + \sin^2 h)^{0,5}]}{2,001\,5(1 - H \cdot 10^{-4})} + 0,910\,18 \quad [-]$$

kde: h – výška slunce nad obzorem

H – nadmořská výška daného místa

Intenzita přímého slunečního záření na obecně skloněnou plochu, jejíž poloha je určena azimutem a_s a úhlem sklonu α je dána: [1]

$$I_p = I_{pn} \cos \gamma \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$$

kde: γ – úhel dopadu paprsků na osluněnou plochu

1.3.3 Difúzní sluneční záření

Je to záření, které je v atmosféře rozptylováno odrazem o molekuly plynů ve vzduchu, prachem a mraky. Při difúzním záření se vlnová délka paprsků nemění, takže je stejná jako u záření přímého. Intenzitu difúzního záření lze přibližně vypočítat: [1]

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

kde: α – je úhel sklonu osluněné plochy od vodorovné roviny

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

I_{ph} – intenzita přímého slunečního záření na vodorovnou plochu

I_{Dh} – intenzita difúzního záření na vodorovnou plochu

Pro intenzity záření I_{ph} a I_{Dh} platí vztahy:

$$I_{ph} = I_{pn} \sin h \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$$

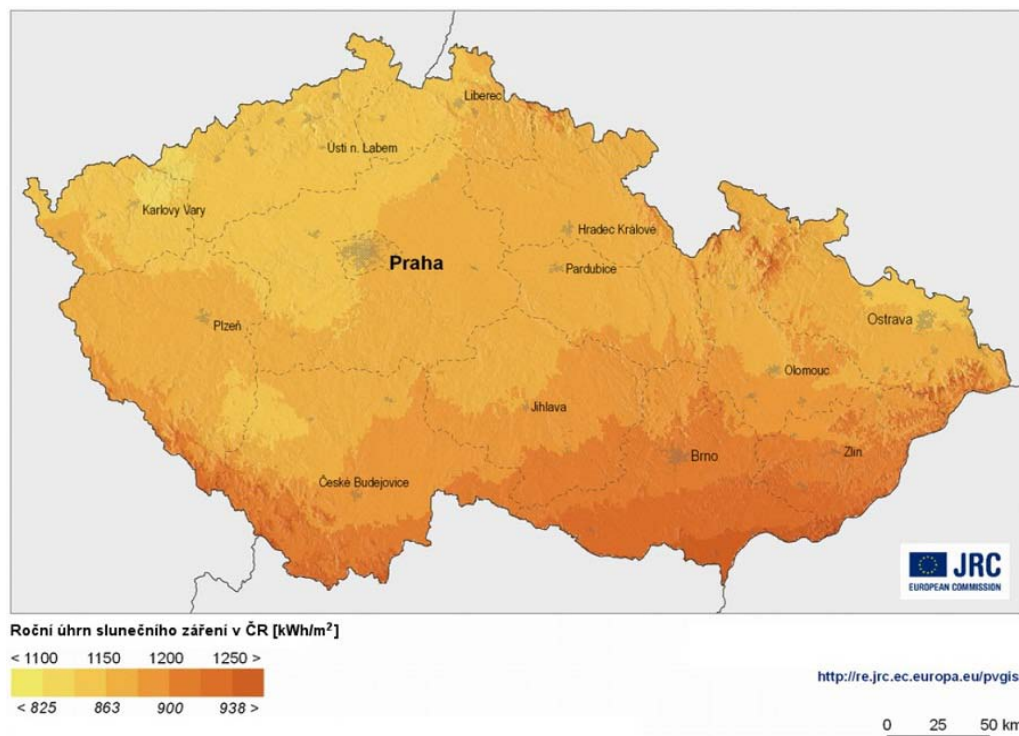
$$I_{Dh} = 0,33 (I_0 - I_{pn}) \sin h \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$$

Difúzní záření dopadá na osluněnou plochu i v době, kdy je obloha pod mrakem a slunce na ni přímo nesvítí.

1.3.4 Globální záření

Jedná se o součet záření přímého a difúzního, pro oblast ČR je intenzita slunečního záření znázorněna na obr. 1.3. Intenzita globálního záření je dána algebraickým součtem: [1]

$$I = I_p + I_D \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$$



Obr. 1.3 Roční průměrný úhrn globálního záření dopadající v České republice [$\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$] [20]

1.4 Parametry určující polohu slunce nad obzorem

Směr dopadu slunečních paprsků je dán vzájemnou polohou slunce nad obzorem a osluněné plochy. Kdežto u osluněné plochy se jedná zpravidla o stálou polohu určenou orientací plochy ke světovým stranám a úhlem sklonu od vodorovné roviny, mění se poloha slunce nad obzorem v závislosti s časem. V každém okamžiku pak je poloha slunce dána jeho výškou nad obzorem h a jeho azimutem a platí pro něj vztah: [1]

$$\sin h = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \tau$$

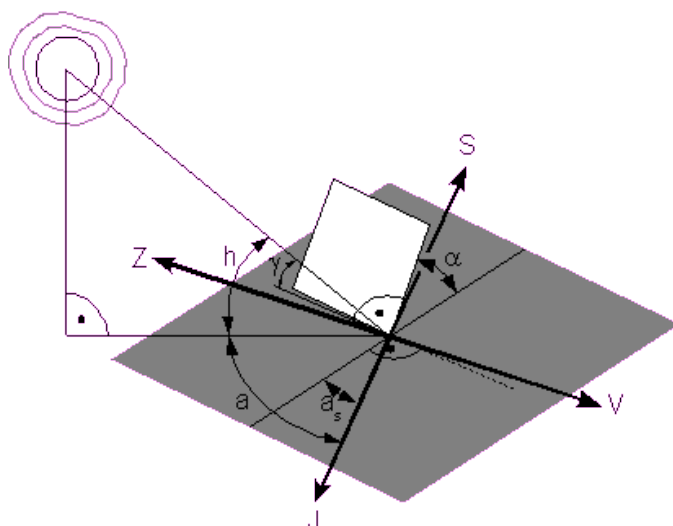
$$\sin a = \frac{\cos \delta}{\cos h} \sin \tau$$

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

φ – zeměpisná šířka

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

Sluneční deklinace se během roku mění, každý den má jinou hodnotu. Pro běžné výpočty stačí jediná hodnota sluneční deklinace pro celý měsíc. Deklinaci počítáme pro tzv.



charakteristický den v měsíci (s výhodou se volí 21. den v měsíci), pro nějž se pak počítají všechny parametry viz obr. 1.4. Intenzita slunečního záření spočtená v charakteristickém dni v měsíci se poté považuje za průměrnou hodnotu pro celý měsíc.

Obr. 1.4 Parametry určující polohu slunce nad obzorem [1]

Základní údaje o orientaci solárních kolektorů pro oblasti České republiky viz tab. 1.2.

Optimální orientace kolektorů	jih - jihozápad
Vyhovující orientace kolektorů	jih - jihovýchod
Maximální výkon kolektorů	kolem 14:00 hodiny
Optimální sklon pro letní provoz	kolem 30° od vodorovné roviny
Optimální sklon pro celoroční provoz	kolem 45°
Optimální sklon pro zimní provoz	kolem 60° - 75°

Tab. 1.2 Základní údaje o orientaci solárních kolektorů [18]

1.5 Teoreticky možné množství energie dopadající na osluněnou plochu

Plocha pod křivkou $I = f(\tau)$ viz obr. 1.5, která udává denní průběh intenzity celkového záření, je úměrná energii, jež dopadne na osluněnou plochu za den $Q_{S \text{ den teor}}$ [$\text{Wh} \cdot \text{m}^{-2}$] za předpokladu jasné oblohy. Dopadající energii zjistíme dle vztahu: [1]

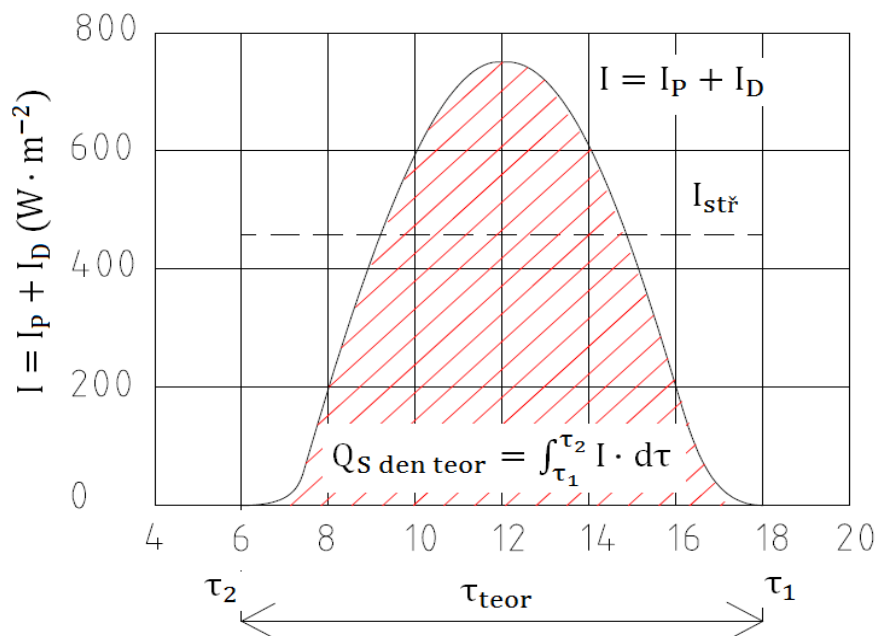
$$Q_{S \text{ den teor}} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} I d\tau \quad [\text{Wh} \cdot \text{m}^{-2}]$$

Krajní hodnoty τ_1 a τ_2 označují čas východu a západu slunce a platí pro ně vztah:

$$\cos \tau_{1,2} = -tg\delta tg\varphi$$

kde: δ – sluneční deklinace

φ – zeměpisná šířka

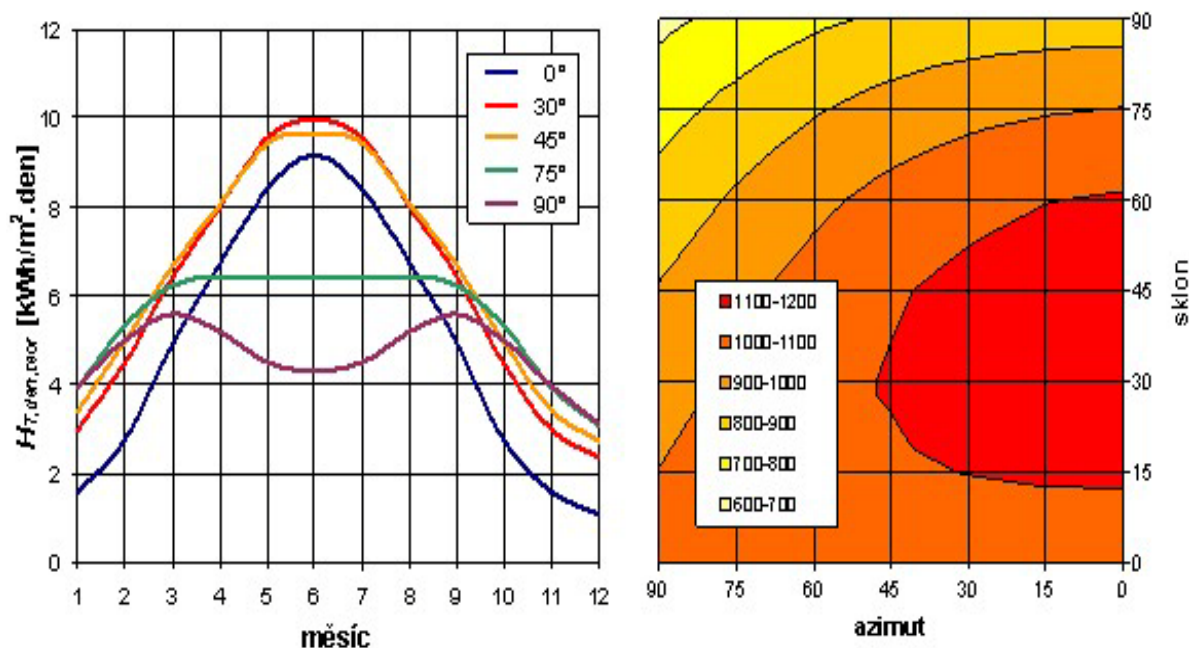


Obr. 1.5 Grafický způsob určení energie $Q_{S \text{ den teor}}$ ($Wh \cdot m^{-2}$) [1]

S pomocí τ_{teor} lze také odvodit střední intenzitu slunečního záření během dne viz obr. 1.5.

$$I_{stř} = \frac{1}{\tau_{teor}} \int_{\tau_1}^{\tau_2} I d\tau = \frac{Q_{S \text{ den teor}}}{\tau_{teor}} \quad [W \cdot m^{-2}]$$

Pro využití energie slunečního záření je nejvýhodnější orientace ve směru na jih, kdy $Q_{S \text{ den teor}}$ dosahuje maximálních hodnot. Někdy však není možné orientovat kolektory přesně na jih, a proto je nutné se smířit se zmenšením $Q_{S \text{ den teor}}$ (odchylka by neměla být větší než $\alpha_s = \pm 45^\circ$). Maximálních hodnot $Q_{S \text{ den teor}}$ dosahujeme v červnu, naopak nejmenších hodnot v listopadu až lednu. [7] Vliv sklonu kolektoru na dosažení $Q_{S \text{ den teor}}$ viz obr. 1.6.



Obr. 1.6 Roční profil teoretických dávek slunečního ozáření na různě skloněné plochy a celkové roční pohlcené energie pro různé umístění plochy kolektorů [22]

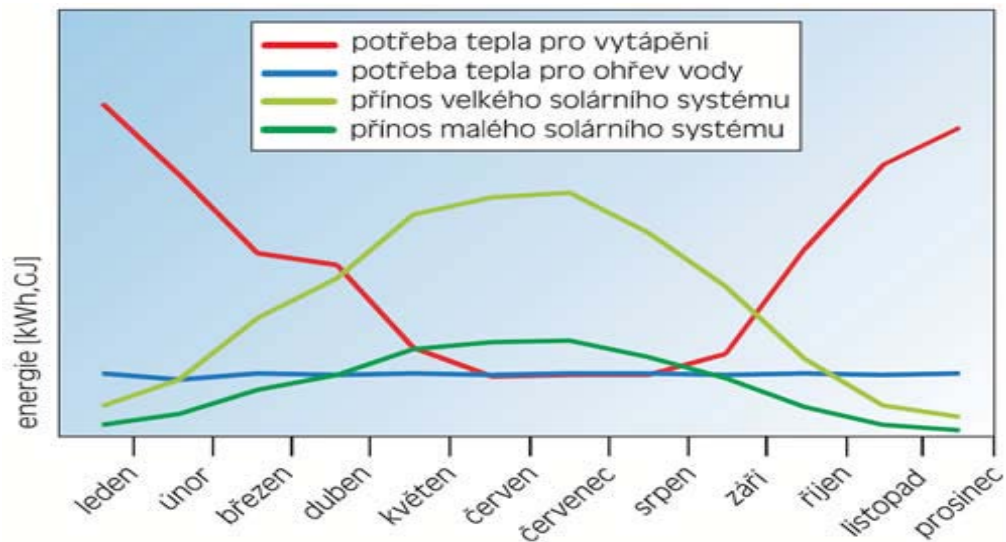
V našich klimatických podmínkách je celková doba slunečního svitu 1 700 - 2 200 h/rok. [8] Tato hodnota se směrem k východu zvětšuje, v zimních měsících je však skutečná doba slunečního svitu velice krátká vlivem zvýšené oblačnosti a skutečností, že slunce je velmi nízko nad obzorem. Souhrn základních údajů pro využívání solární energie v ČR viz tab. 1.3.

Celková dopadající energie na vodorovnou plochu	950 – 1150 kWh·m ⁻² ·rok
Zisk z této energie v pasivních systémech	20 – 50 % v topné sezóně
Zisk z této energie v aktivních systémech ÚT	30 – 40 % v topné sezóně
Zisk této energie v aktivních systémech TUV	50 – 80 % za rok
Zisk této energie v aktivních systémech s letním bazénem	70 – 90 % za sezónu
Zisk této energie v plochem kolektoru pro TUV	400 – 550 kWh·m ⁻² ·rok
Maximální dopadající sluneční energie v létě	až 8 kWh·m ⁻² ·den
Účinnost slunečních kolektorů (dle umístění a využití)	50 – 80 %

Tab. 1.3 Základní údaje o energetické bilanci využití solární energie [18]

2 Solární systémy pro ohřev vody

Jak v létě, tak v zimě je teplá voda potřebná pro sprchu, vanu a domácnost. Protože v létě nastává velká nabídka solární energie, přímo nás vybízí k jejímu využití pro přípravu teplé vody. Ale stejně jako mnohé technické výrobky, ani solární soustava nedokáže překonat některé nedokonalé vstupní podmínky. Je snadnější například v letním období ohřát vodu v bazénu na 25°C, než ji v zimních měsících, kdy je slunečního záření méně, ohřívat na 45°C. Nejpriznivější podmínky pro solární zařízení jsou tehdy, kdy se shoduje nabídka sluneční energie s poptávkou viz obr. 2.1.



Obr. 2.1 Možnosti krytí potřeby tepla a ohřevu vody solárním systémem různé velikosti [18]

2.1 Využívání solární energie pro ohřev vody a vzduchu

Solární soustavy mohou být uplatněny v následujících oblastech:

- ohřev vody v bazénech
- ohřev užitkové vody v letním a přechodném období (předehřívání v zimě)
- solární vytápění (nizkoteplotní vytápění, zejména podlahové ve spojení s jiným konvenčním zdrojem)
- temperování výrobních a skladových hal vzduchovými kolektory
- výroba procesního tepla pro průmyslové využití

2.1.1 Ohřev vody v bazénech

Při ohřevu vody v bazénech se přesně shoduje nabídka sluneční energie s poptávkou po ní. Ohřev vody v bazénech má malé tepelné nároky, požadované teploty vody jsou v rozmezí 23 až 26°C. Zvýšení teploty vody o 5 až 10 °C se dá dosáhnout pomocí kolektorů

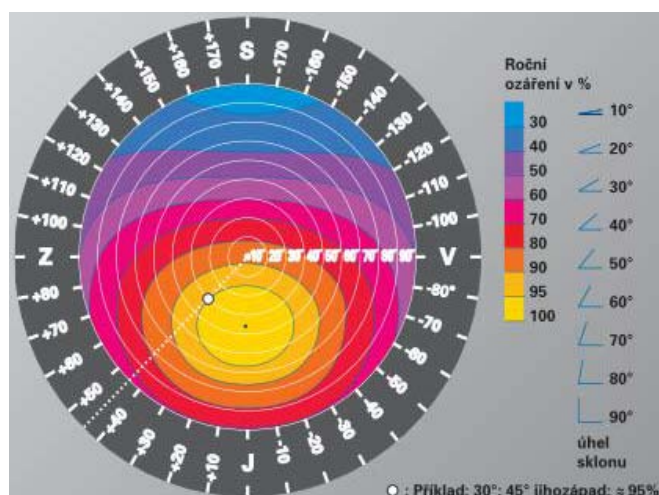
nejjednodušších konstrukcí. Používají se převážně jen absorbéry bez krycích skel, realizovaných pomocí paralelně vedených černých plastických hadic nebo plastových rohoží. Materiály musí být jednak odolné vůči UV záření a také vůči bazénové chemii.

Tepelný zásobník je v tomto případě sama voda v bazénu. Akumulační schopnost velkého množství vody má vliv na to, že teplota vody v noci klesá jen velmi pomalu. Zakrýváním bazénu přes noc se mohou ztráty výparem hladiny znatelně snížit. Na 1 m² vodní hladiny je potřeba zhruba 0,5 až 0,8 m² kolektorové plochy. [5]

2.1.2 Ohřev užitkové vody v letním a přechodném období

V tomto případě se neshoduje nabídka sluneční energie s potřebou tepla, jako u bazénového ohřevu. Přesto může zásobovat domácnost teplou vodou (45 - 50°C) v letním období bez dodatečného zdroje a v přechodném období (březen až duben a září až říjen) může solární systém sloužit k předehřevu vody. Pro přípravu teplé vody je požadavek na teplotu vody nejméně 45°C, takže solární soustava musí vodu ohřát o 35°C (předpokládáme teplotu vody z vodovodu 10°C). V letním období při teplotách okolního vzduchu 12 - 25°C, musí být soustava schopná dosáhnout na kolektoru 50 - 70 °C tepla. [3]

Sluneční kolektory pro ohřev teplé vody jsou zpravidla ploché (někdy trubicové) dobře izolované skříně, v nichž je za tabulí skla umístěn absorber opatřený černým nátěrem, resp. selektivním povrchem. Kolektory jsou pevně namontovány ve střední nebo horní části střechy s orientací na jih a sklonem 30 - 45° podle ročního provozu. [6] Z hlediska energie dopadající na osluněnou plochu je odchýlení směrem na východ rovnocenné odchýlení směrem na západ. Protože při odchýlení směrem na východ dopadá na osluněnou plochu větší část energie v dopoledních hodinách, při odchýlení směrem na západ naopak v hodinách



Obr. 2.2 Zisky solárního kolektoru v závislosti na orientaci a sklonu [18]

odpoledních. Odchýlení směrem na západ je energeticky výhodnější, protože v odpoledních hodinách je při vyšší teplotě okolního vzduchu účinnost kolektoru větší (viz obr. 2.2). Pokud bude soustava provozována celoročně, musí být v kolektorovém okruhu použit prostředek proti zamrznutí, tedy i tepelný výměník oddělující teplonosnou kapalinu od použité pitné vody.

2.1.3 Solární vytápění

Udává se, že na vytápění domu je potřeba zhruba 40 až 70% z celkové spotřeby domu. Pokud je topení realizováno jako nízkoteplotní (podlahové), stačí teplo o poměrně nízké teplotě, tudíž by se solárním vytápěním nemusely být potíže. Zásadním problémem zde je však významný nepoměr mezi nabídkou sluneční energie a poptávkou po vytápění [10] viz obr. 2.1. Je vidět, že v létě, kdy je solární energie nejvíce, je spotřeba na vytápění nulová a naopak v zimě, kdy se potřebuje topit, je nabídka solární energie nejmenší. Velká spotřeba tepla při nízké intenzitě slunečního záření vyžaduje obrovské kolektorové plochy s velkými akumulátory tepla. Znamená to, že výsledné zařízení bude velké a drahé, v létě předimenzované. Proto bude solární systém vždy lépe fungovat v součinnosti s jiným druhem vytápěcího zařízení, například tepelné čerpadlo nebo přehřev do plynového kotle.

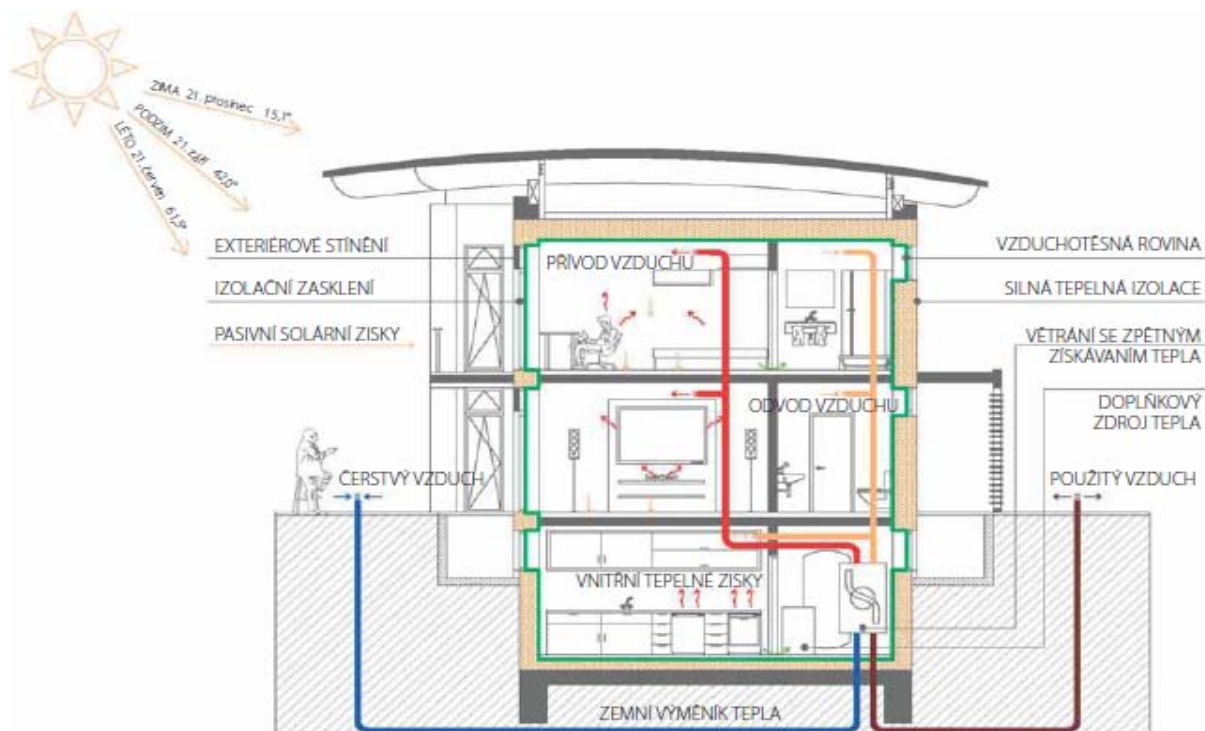
V praxi se občas uplatňují jednoduché pasivní solární vytápěcí systémy, které mají

kWh/m ² .rok	ztráty tepla za rok cca	přínos energie v otopném období		
		J	JZ, JV	Z, V
jednoduché zasklení	546	344	310	181
dvojsklo	273	304	274	160
dvojsklo s pokovením	141	268	241	141
trojsklo	94	280	252	147
trojsklo s pokovením	66	192	173	101
dvojsklo + Heat Mirror	103	160	144	84

Tab. 2.1 Tepelné ztráty a zisky různých typů zasklení [20]

výhodu v tom, že jsou levnější a využívají ke své funkci přímo jednotlivé součásti domu viz obr. 2.3. Při volbě zasklení je potřeba zvážit jeho technické vlastnosti, zejména schopnost propouštět sluneční tepelné záření a světlo a také izolační schopnost prosklení.

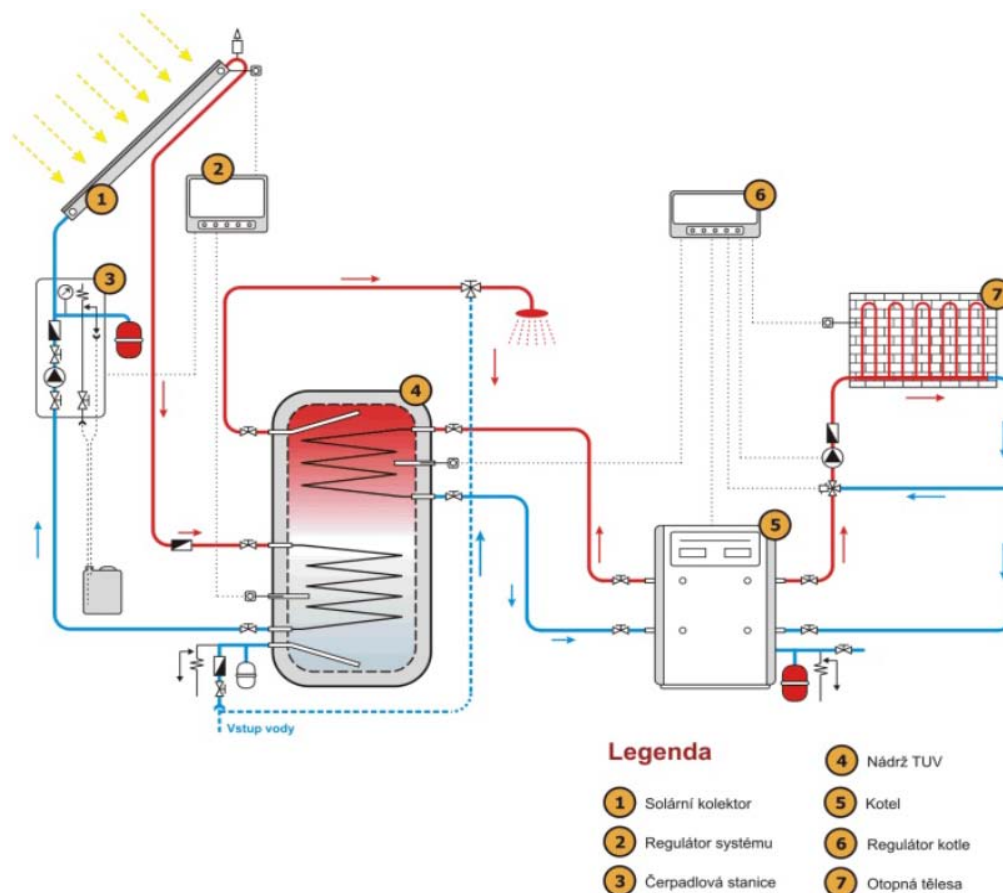
Přehled dostupných plastových oken na trhu s parametry přínosu energie viz tab. 2.1.



Obr. 2.3 Řez pasivním domem s využitím solární architektury [20]

2.2 Komponenty solárního systému

Solárním systémem rozumíme zařízení, které se skládá z různých součástí, jejichž celek zajišťuje co nejdokonalejší přeměnu slunečního záření na tepelnou energii. Základem fototermického solárního systému jsou vždy solární kolektory. Samotný solární kolektor k přeměně sluneční energie na teplo nestačí. Abychom mohli tuto energii dále využít, potřebujeme ještě další součásti, které dohromady vytvoří solární systém. Schéma solárního systému pro ohřev TUV s možností dohřívání vody jiným zdrojem tepla viz obr. 2.4.



Obr. 2.4 Schéma systému pro ohřev TUV s možností dohřevu sekundárním zdrojem tepla [22]

Sluneční záření dopadá na kolektor, ve kterém je absorber (měděný plech se selektivním povrstvením). Na absorber jsou přiletovány měděné trubky, ve kterých proudí kapalina solárního okruhu. Sluneční záření dopadající na absorber způsobuje zahřívání kapaliny uvnitř absorberu. Elektronická regulace pomocí teplotních čidel neustále vyhodnocuje rozdíl teplot v zásobníku teplé vody a v kolektoru. V okamžiku, kdy je teplota v kolektoru vyšší než teplota v zásobníku o nastavenou diferenci, spustí regulace oběhové čerpadlo, které dopraví ohřátou vodu do zásobníku a dojde k předání tepla přes tepelný výměník. Celý cyklus trvá do doby, než se teploty v kolektoru a zásobníku vyrovnají. Solární systémy jsou v dnešních

podmínkách z převážné většiny provozovány celoročně, proto se jako teplotnosné médium používá nemrznoucí kapalina. [9]

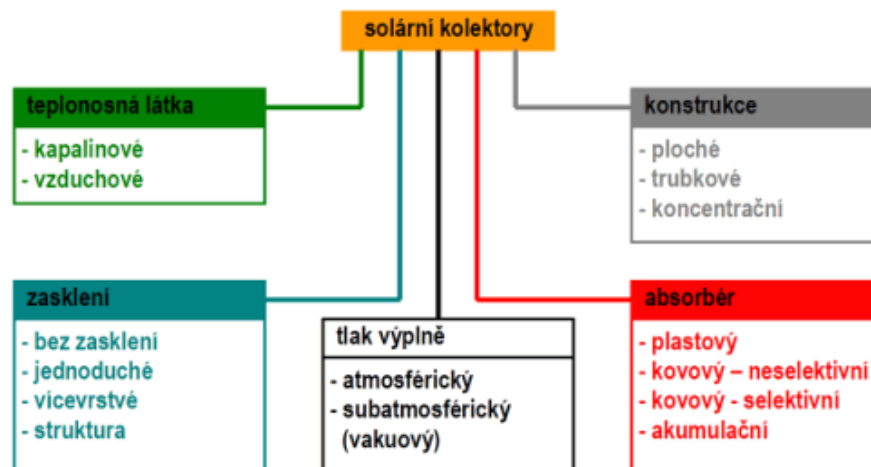
Solární systémy obsahují tyto hlavní části:

- kolektor
- zásobník tepla s výměníky
- spojovací potrubí
- oběhové čerpadlo
- zabezpečovací armatury
- regulaci

2.2.1 Solární kolektor

Kolektory jsou nejdůležitější součástí solárních systémů. Slouží k zachycování sluneční energie a k jejímu převodu na teplo, kterým se zahřívá teplotnosná tekutina. Protože musí být umístěny venku v dosahu slunečního záření, jsou vystaveny nepříznivým povětrnostním podmínkám (sníh, kroupy, vysoké teploty). Proto je nutno věnovat konstrukci, výrobě, montáži i údržbě velkou pozornost a péči.

Základní rozdělení solárních kolektorů viz obr. 2.5.



Obr. 2.5 Rozdělení solárních kolektorů [21]

Základní části solárního kolektoru jsou následující:

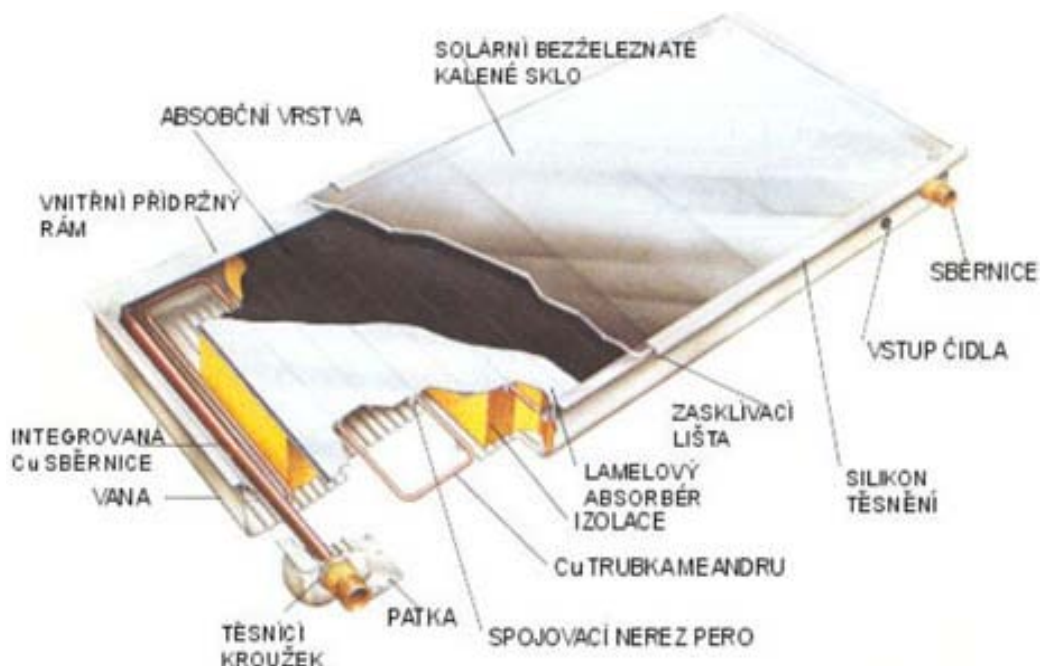
- absorbér
- pouzdro kolektoru
- sklo
- izolace

Absorbér – je vytvořen ze speciálních, nejčastěji měděných či hliníkových lamel nebo měděného plátu, jež jsou pokryty vysoce selektivním spektrálním nánosem charakterizovaným vysokou absorptivitou a minimální emisivitou např. vrstvy TiNOX, Sunselect a ETA Plus. Tyto selektivní vrstvy mají vyšší účinnost než běžný černý nátěr. Je to dáno vyšší schopností přijmout sluneční záření a současně ho minimálně odrazet zpět. Lamely nebo plát jsou vysokofrekvenčně navařeny, napájeny či vlisovány na měděné trubky. Absorbér je uložen do hliníkové vany či kazety složené z hliníkových nebo nerezových profilů. [3]

Pouzdro kolektoru – je to nosná část celého kolektoru. V praxi jsou nejčastěji dva typy. Prvním je vana ze slitiny hliníku, do které se vkládá izolace, absorbér a speciálními lištami se upevní sklo. Druhá možnost je systém hliníkových či nerezových profilů, které vytvoří kazetu a dnem kolektoru se stává plech s izolací. Sklo je upevněno podobným způsobem jako u kolektoru s hliníkovou vanou nebo je přichyceno horním profilem.

Sklo – na výrobu plochých kapalinových kolektorů se používá speciální bezpečnostní solární sklo, které má nejčastěji tloušťku 3 - 4 mm. Je kalené a vyrobeno se sníženým obsahem železa a nečistot, které by zhoršovaly propustnost světelného záření. Bezpečnostní je z toho důvodu, aby odolalo nepříznivým povětrnostním vlivům (např. krupobití). [5]

Izolace – je velmi důležitou částí kolektoru a slouží k izolaci spodní a boční části kolektoru proti úniku tepla. Nejčastěji se používá minerální vata nebo pevnější polyuretan. [10] Schéma celého kolektoru s jednotlivými částmi viz obr. 2.6.



Obr. 2.6 Řez plochým solárním kolektorem [18]

2.2.2 Solární zásobník

Dobrý solární kolektor nedělá sám o sobě ještě dobrou solární soustavu. Jsou zde i další komponenty solárního systému, které jsou pro výsledný celek důležité, jedním z nich je právě solární zásobník. Na trhu existuje v současné době mnoho výrobců a dodavatelů zásobníků určených pro solární ohřev vody. Solární zásobník může být vybaven jedním nebo více tepelnými výměníky. Jeden z výměníků vždy slouží pro přenos tepelné energie ze solárního systému do zásobníku vody. Ten je umístěn vespod zásobníku, další jsou využívány jinými klasickými zdroji tepla, případně je zásobník vybaven elektrickou patronou. Dle počtu výměníků se zásobníky označují jako monovalentní (1 výměník), bivalentní (2 výměníky) nebo trivalentní (např. kombinace 2 výměníků a elektrické patrony).

Materiály pro zásobník:

- ocel
- ušlechtilá ocel
- plast

Konstrukce a účel použití:

- zásobník pitné vody
- kombinovaný zásobník nebo nádrž v nádrži
- vyrovnávací zásobník

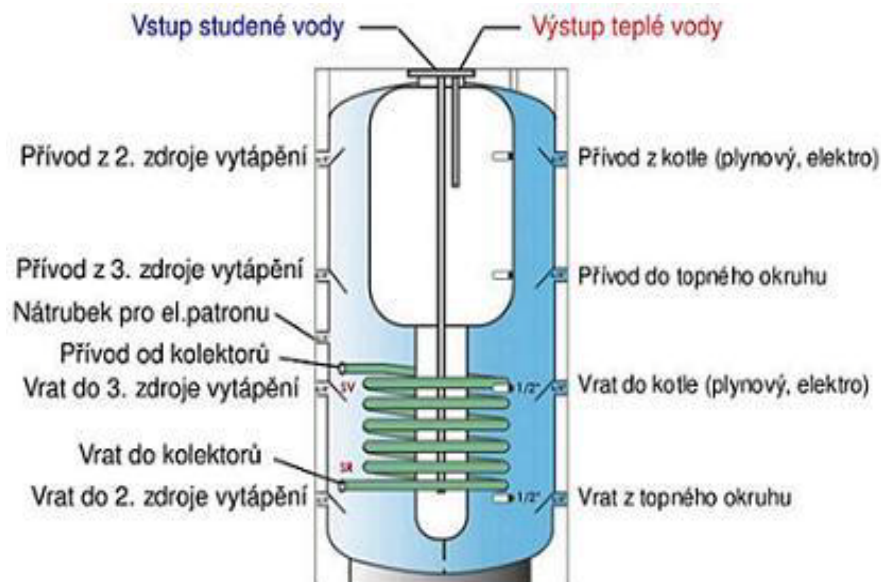
Ocelový zásobník – pro přípravu teplé vody se převážně používají ocelové zásobníky. Zásobníky na pitnou vodu mají jako ochranu proti korozi vnitřní smaltování (nejčastěji dvojité). Pro ochranu vůči vnitřní korozi bývá u smaltovaných zásobníků, zejména při spojení s tepelnými výměníky z mědi, našroubována do nádrže magneziová tyč (obětovaná anoda). Protože se kov anody v průběhu času spotřebuje, musí být anoda po třech až pěti letech kontrolována a případně vyměněna.

Zásobníky z ušlechtilé oceli – vyznačují se vysokou odolností vůči korozi a dlouhodobou životností, aniž by bylo nutné učinit protikorozní opatření. Jsou ovšem několikanásobně dražší než zásobníky smaltované, a proto jsou méně rozšířené.

Zásobníky z plastické hmoty – nejsou příliš rozšířeny. Nejsou odolné tlaku, takže se navrhuje jen jako beztlakové zásobníky a také dlouhodobá životnost většiny plastických hmot při teplotách nad 80°C klesá.

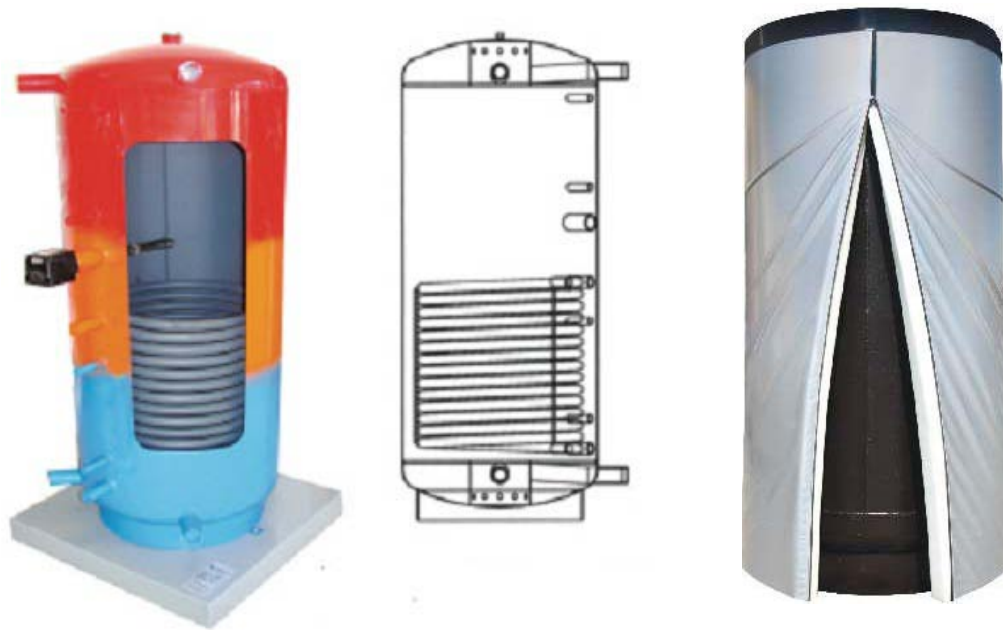
Zásobníky na pitnou vodu – jsou napojeny na řád studené vody a tedy plněny vodovodní, resp. pitnou vodou. Ve srovnání se soustavami pro vytápění jsou tyto zásobníky vystaveny většímu ohrožení korozi, díky vnášení kyslíku v pitné vodě. Zásobníky pitné vody jsou známé ze sanitární techniky především jako bojler.

Kombinované zásobníky – jsou to zásobníky s kombinací zásobníku na pitnou vodu a vyrovnávacího zásobníku. Menší vnitřní nádrž plněná pitnou vodou je pevně vestavěna do horní části vyrovnávacího zásobníku, kde bude největší teplo. Tím se dosáhne jednoduchého oddělení pitné vody od vody např. topného okruhu, přičemž teplo z topného okruhu ohřívá pitnou vodu. Vnitřní nádrž s pitnou vodou je napojena na vodovodní řád a tudíž musí odolat tlaku 0,6 MPa, oproti vnější nádrži, která je provedena jako beztlaká viz obr. 2.7.



Obr. 2.7 Řez kombinovaným zásobníkem s vnořeným zásobníkem na TUV [22]

Vyrovnávací zásobníky – jsou to nesmaltované zásobníky o větším objemu, které nejsou určeny přímo pro pitnou vodu. Navrhovány jsou jako vyrovnávací zásobníky pro kombinované použití - pro ohřev užitkové vody a pro vytápění. Akumulovaná energie je k dispozici pro ústřední vytápění přímo a pro ohřev užitkové vody nepřímo prostřednictvím dalšího tepelného výměníku. Akumulací tepla v nich se dá zamezit častému zapínání a vypínání kotle pro topení (tzv. cyklování kotle) nebo tepelného čerpadla. Na obr. 2.8 vlevo můžeme vidět vyrovnávací zásobník bez nasazené izolace a na obrázku vpravo s izolací, která se připevní po umístění na místo. [3]



Obr. 2.8 Vpravo řez vyrovnávacím zásobníkem se zabudovaným trubkovým výměníkem, vlevo usazený vyrovnávací zásobník s izolací [22]

2.2.3 Tepelné výměníky

Výměníky tepla se využívají pro předávání tepla všude tam, kde není možné předávat teplo přímo ze zdroje do spotřebiče. Například jsou-li odlišné teplotně odolné látky (nemrzoucí kapalina – voda), nebo odlišné tlakové poměry v jednotlivých okruzích (vodovodní řád 0,6 MPa – otopná soustava max. 0,3 MPa).

Jelikož v žádném tepelném výměníku nelze dosáhnout 100% termické účinnosti, existuje vždy větší či menší teplotní rozdíl mezi vstupní topnou kapalinou a výstupní ohřivanou kapalinou. Typický příklad rozdílu teplot je například solární systém nebo tepelné čerpadlo. Pokud se do otopného systému instaluje tepelný výměník, který není dostatečně velký, nestačí teplo předávat, do zdrojů se pak vrací vyšší teplota kapaliny a pracují s horší účinností.

Nejdůležitějším parametrem každého tepelného výměníku je předávací výkon. Ten se však mění s mnoha faktory, zejména s teplotním rozdílem mezi topnou a ohřivanou stranou výměníku, tedy s tepelným spádem. Čím je navržený teplotní spád tepelného výměníku vyšší, tím je potřebná velikost výměníku nižší. Proto u systémů nebo zdrojů, u kterých se nekladou vysoké nároky na co nejnižší teplotu zdroje, stačí výměníky malé. Typickým příkladem jsou plynové kotle, elektrické kotle a kotle na tuhá paliva. [4]

Existují dva základní typy tepelných výměníků, které se liší svou konstrukcí a použitím.

Trubkové tepelné výměníky – skládají se z jedné nebo více stočených trubek, kde přestupní plochu tvoří vnější plášť trubky. Typickým příkladem těchto výměníků jsou integrované tepelné výměníky v zásobnících teplé vody nebo v akumulacích nádržích. Tyto výměníky jsou jednoduché s malou tlakovou ztrátou. Mají však nízký přestupní koeficient, což znamená, že pro předání i relativně malého výkonu potřebují velkou přestupní plochu.

Deskové tepelné výměníky – mají přestupní koeficient až 10x vyšší než trubkové výměníky a předávací výkon až v řádech stovek kilowatů. Jejich hlavní nevýhodou je nutnost použití oběhového čerpadla jak na otopnou stranu, tak na ohřívanou. Investiční náklady jsou obvykle vyšší, vyšší jsou i provozní náklady, neboť je třeba počítat s téměř dvojnásobným elektrickým příkonem na pohon oběhových čerpadel. [3]

2.2.4 Čerpadlová skupina

Solární čerpadlová skupina (solární stanice) sdružuje více komponent solárního systému do kompaktního celku. Jedná se o zařízení s čerpací, regulační, pojistnou a odvzdušňovací funkcí. Výhodou je rychlejší montáž, úspora místa, vyšší přehlednost systému a vyšší celkový estetický dojem. Přirozeně musí být čerpadlové skupiny přizpůsobeny velikosti soustavy i jejich částí. Velkou výhodou je zkrácení doby pro montáž a zapojení důležitých bezpečnostních armatur výrobcem. Mimoto jsou nabízeny přiléhavé izolační tvarovky, umožňující izolaci beze spár i tvarově složitých armatur. Někteří výrobci dokonce prodávají již namontované čerpadlové skupiny na zásobníky vody jako předem připravenou soustavu. [5]

2.2.5 Řízení a regulace

Řízení, tj. koordinační centrum solární soustavy, má plnit následující úkoly:

- řízení oběhového čerpadla v solárním okruhu za účelem optimalizace zisků z kolektorů a zásobníku
- udržování hraničních teplotních hodnot v zásobníku

Regulace podle rozdílů teplot – čerpadlo kolektorového okruhu se zapíná, jakmile teplotní rozdíl mezi kolektorem a dolní částí zásobníku překročí stanovenou teplotu. Vypíná se, jakmile teplotní rozdíl poklesne pod stanovenou hodnotu. Zpravidla je ještě nastavený minimální čas dobíhání chodu čerpadla.

Regulace podle záření a rozdílu teplot – při ovládání čerpadla kolektorového okruhu prostřednictvím záření je montováno do kolektoru místo čidla teploty čidlo reagující na záření dopadající na kolektorové pole. Přestoupí-li záření přes stanovenou hodnotu (například $150 - 200 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$), zapne se chod čerpadla kolektorového okruhu. [3]

2.2.6 Teplonosné médium

Teplonosné médium má za úkol transportovat teplo od kolektoru k tepelnému zásobníku. Na teplonosná média jsou kladeny tyto požadavky:

- vysoká tepelná jímavost (vysoká tepelná kapacita)
- nízká viskozita (dobré vlastnosti pro tok a proudění kapaliny)
- mrazuvzdornost (podle lokality až -28°C)
- při provozních teplotách nesmí dojít k varu
- nepodporující korozi
- nehořlavá, netoxická

Všechny tyto požadavky by splňovala voda, protože však při teplotách pod 0°C zamrzá, může být používána jen v letním provozu.

Pro soustavy využívané celoročně se používají převážně směsi vody s nemrznoucími přípravky (glykoly) s přidavkem inhibitoru proti korozi, např.: Solaren P Plus, Kolekton P Super, Solarten Super. [4]

2.2.7 Potrubní rozvod

Rozvody potrubí solárních tepelných soustav spojují kolektor se zásobníkem. Návrh materiálů potrubí rozvodů solárních kapalinových soustav musí odpovídat typu a použití soustavy. Potrubí musí být odolné v první řadě teplonosné kapalině a dále musí vyhovovat teplotním a tlakovým poměrům v solární soustavě.

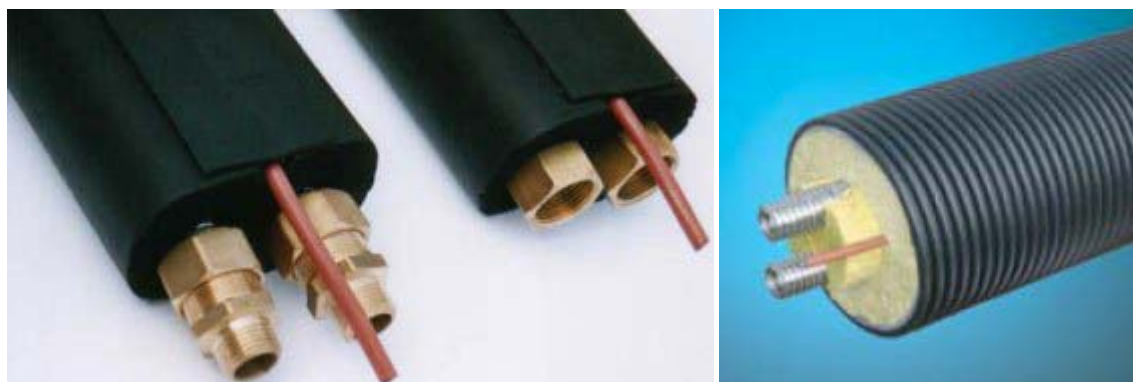
Materiály pro potrubní rozvod

Plastové potrubí – používá se zejména u nízkoteplotních solárních soustav s nezasklenými kolektory pro letní ohřev bazénové vody. Plastové potrubí používané u bazénových absorbérů obsahuje uhlíkové částice z důvodu ochrany proti UV záření. Pro kolektory se používají materiály na bázi polypropylenu, EPDM nebo polyesteru. Pro potrubí, které není vystaveno UV záření lze použít běžný síťovaný polyetylen jako u vodovodních instalací.

Kovová potrubí (měď, ocel) – používá se u solárních soustav s kolektory pro celoroční použití. U těchto soustav musí být primární okruh odolný teplotám okolo 180°C u plochých

kolektorů a 250°C u vakuových kolektorů. Nejpoužívanějším materiálem je měď, která umožňuje rychlou montáž (pájení, lisování). Použití ocelových trubek je možné, ale montáž je velmi pracná a zdoluhavá (svařování, ohýbání, řezání závitů). Ocelové trubky se používají především u velkých solárních soustav, kde by měděné potrubí bylo velmi drahé.

V poslední době se na trhu objevily velice výhodné kompaktní měděné a ocelové potrubní systémy sdružující přívodní a vratné potrubí a elektrické vedení mezi regulátorem a čidlem teploty zalité v tepelné izolaci viz obr. 2.9. [18]



Obr. 2.9 Kompaktní potrubní systém s tepelnou izolací a kabeláží [18]

Návrh světlosti potrubního rozvodu

Dimenzování závisí na způsobu provozu solárních soustav daným hodnotou měrného průtoku kolektorovým polem. Rozeznáváme soustavy s vysokým průtokem tzv. High – Flow systémy s průtokem 50 až 75 l (h·m²) kolektorové plochy provozované většinou jako maloplošné soustavy pro rodinné domy. Soustavy s nízkým průtokem tzv. Low – Flow systémy s průtokem 10 až 15 l (h·m²) kolektorové plochy, zpravidla jsou to větší soustavy se zásobníkem s tepelnou stratifikací.

Návrh světlosti potrubí se provádí stejným způsobem jako u běžných tepelných soustav. Rychlost proudění by se měla pohybovat mezi 0,3 až 0,7 m/s. Návrh světlosti potrubí primárního kolektorového okruhu by měl zohlednit také parametry kolektorů, které ovlivňují jejich stagnační chování, jako je objem kolektorů a kvalita vyprazdňování kolektorů. Jako základní pravidlo platí, že objem přívodního V_p a zpětného potrubí V_z ke kolektorům by měl být stejný jako objem kolektorů V_k . [7] Orientační hodnoty světlosti potrubí viz tab. 2.2.

Světlost [mm]	22 x 1	28 x 1,5	35 x 1,5	42 x 1,5	54 x 2
Průtok [l/h]	300 - 800	500 - 1200	900 - 2000	1300 - 3000	2000 - 5000
Kolektorová plocha [m ²]	15 - 80	25 - 125	40 - 200	65 - 300	100 - 500

Tab. 2.2 Orientační hodnoty světlosti pro různé průtoky a plochy kolektorových polí [18]

2.3 Způsoby provozu solárního systému pro ohřev vody

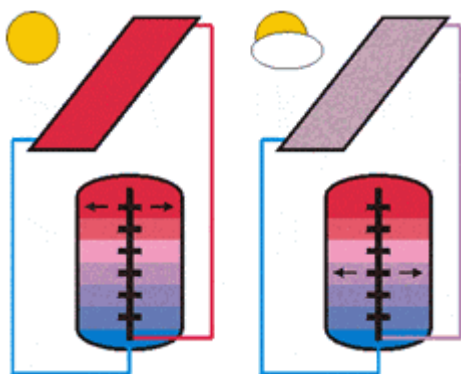
S důrazem na oběh teplotního média solární soustavou existují různé koncepce protékání jako High – Flow, Low – Flow, Matched – Flow a Drain – Back systémy. Tato označení poukazují na podstatně rozdílné průtoky média na čtvereční metr plochy kolektoru.

2.3.1 High – Flow

Optimální solární zisky se dosahují při průtocích 30 až 70 l/hod na m² plochy kolektorů. Tím dochází ke zvýšení teploty v kolektorech o 8 až 12°C při plném slunečním záření. Průtok je závislý na nastavení regulace a stejně tak rychlosti čerpadla. Malá zvýšení teploty mají tu výhodu, že je kolektor provozován s dobrou účinností. Aby teplotní médium dosáhlo vyšší teploty, musí oběhnout systémem vícekrát, tzn. že zásobník je vyhříván jen pomalu, takže dosažení požadované teploty trvá déle. Menší solární soustavy jsou dnes provozovány převážně touto technikou. [4]

2.3.2 Low – Flow

Low – Flow systémy pracují se značně sníženým průtokem solárního média v solárním okruhu mezi kolektorem a zásobníkem. Při snížení průtoku oběhovým čerpadlem se zvýší teplota kolektorů, a to až o 50°C. Abychom této vyšší teploty plně využili, musíme použít stratifikační zásobník viz obr. 2.10, který se dokáže nabíjet ve vrstvách podle dosažené teploty na kolektoru. U těchto systémů se používají trubky s menší světlostí než u High – Flow systémů. To vede k menším tepelným ztrátám a cenovým úsporám. Aby nedocházelo k tomu, že kolektor pracuje při vyšších teplotách s horší účinností, udržujeme teplotu na vstupu do kolektorů tak nízkou, jak jen to je možné. Velké solární soustavy jsou dnes téměř bez výjimek provozovány v Low – Flow režimu. [4]



Obr. 2.10 Zjednodušený princip teplotní stratifikace ve stratifikačním zásobníku [17]

Stratifikace: teplotní stratifikací se rozumí vrstvení objemu zásobníku podle teploty řízeným ukládáním tepla do vrstev o stejné nebo podobné teplotě. Pokud je ze solárních kolektorů k dispozici tepelná energie o vysoké teplotě odpovídající teplotě v horní vrstvě zásobníku, ukládá se teplo do této vrstvy. Pokud je k dispozici teplota nižší, ukládá se teplo do odpovídající chladnější vrstvy. Výsledkem je takové rozvrstvení zásobníku, kde v horní části je

teplota výrazně vyšší než ve spodní části. Kvalitní stratifikační zásobníky, oproti běžným bez vrstvení, umožňují dodávat teplo o požadované teplotě do okruhu spotřeby již během náběhu akumulačního zásobníku, což zvyšuje solární podíl solární soustavy. [4]

2.3.3 Matched – Flow

Vychází z myšlenky spojit výhody obou dvou systémů tedy z Low – Flow technikou docílit dostatečně vysoké teploty a s High – Flow optimalizované výnosy. Specifický průtok kapaliny je u dosud realizovaných systémů v mezích 10 – 40 l/m² hod. [4]

2.3.4 Drain – Back

Je zajímavou variantou z pohledu konstrukce. Není-li sluneční záření dostatečné, vyteče v klidovém stavu teplonosné médium z kolektorů do úměrně velké záchytné nádrže a kolektory zůstanou prázdné. Při příštím naběhnutí čerpadla je kapalina znovu čerpána do kolektorů. Jako teplonosná kapalina může být použita čistá voda. Systém je velmi bezpečný, protože varu vody lze zamezit vypnutím čerpadla. [4]

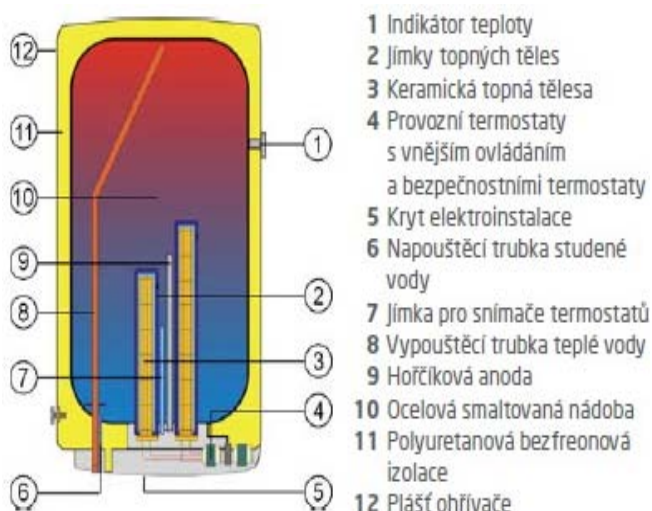
2.4 Fotovoltaický ohřev vody

Jedná se o nový a zajímavý způsob ohřevu teplé vody ne přímo kolektorem, ve kterém proudí kapalina, ale ohřevem pomocí fotovoltaických panelů umístěných na střeše napojených na elektrickou patronu v ohřivači vody. Jedno z možných řešení nabízí společnost Dražice. Základem fotovoltaického ohřevu je hybridní ohřivač vody OKFE Dražice, který umožňuje ohřívat vodu energií z rozvodné sítě a nebo energií z fotovoltaických panelů viz obr. 2.11. Nejnovější model je vybaven HDO režimem, tudíž je vytápěn elektřinou ve snížené sazbě.

Elektrické ohřivače se dvěma topnými spirálami AC/DC používají na ohřev vody dva zdroje elektrického proudu. Střídavý AC proud je napájen z elektrické sítě přes HDO a stejnosměrný DC proud je napájen z fotovoltaických panelů. Zásobník umožňuje několik kombinací ohřevu díky dvou samostatných termostatů pro AC a DC spirálu zvlášť. Ohřivače vody OKFE AC/DC jsou určeny zejména pro využití obou zdrojů elektrické energie. Stabilní střídavý zdroj ze sítě permanentně ohřívá vodu na teplotu, kterou nastavíme pomocí termostatu T1. V praxi se doporučuje teplota okolo 40°C. Po dosažení přednastavené teploty termostat T1 vypne přívod energie ze sítě. Stejnosměrný proud z fotovoltaických panelů dále ohřívá vodu na nastavenou teplotu na termostatu T2. V případě poklesu teploty vody pod 40°C a při slunečním svitu, ohřívají vodu obě spirály velmi rychle a efektivně. V období od 1.

listopadu do 1. března se doporučuje nastavit termostat T1 na vyšší teplotu s ohledem na slabší sluneční svit. Fotovoltaické panely jsou zapojeny do série a pomocí dvou kabelů je elektrická energie svedena přímo do topné spirály v zásobníku.

Fotovoltaický systém obsahující 6 panelů, každý o výkonu 250Wp (1,5 kWp) dokáže v průměru na území České republiky vyrobit cca 1365 kWh/rok při jižní orientaci a sklonu panelů 35°. Při každodenním ohřívání 100 l zásobníku o 40°C se spotřebuje průměrně 1700



kWh elektřiny za rok. Průměrné solární pokrytí tak bude cca 80%. Zbylá energie musí být dodána vestavěnou elektrickou spirálou napájenou ze sítě nebo jiným zdrojem. V letním období za slunečného dne jsou panely schopny vodu ohřát o 60 až 70 °C, v zimě až o 10°C. Systém je vhodný pro 2 osoby.
 [14] Různé varianty systému viz tab. 2.3.

Obr. 2.11 Řez fotovoltaickým ohřívačem vody OKFE [14]

Typ ohřívače	Proud ohřevu	Tepelné ztráty [kWh/24]	Objem [l]	Hmotnost [kg]	Výška x průměr [mm]	Příkon AC tělesa [kW]
OKFE 80 AC/DC 1kW	AC+DC	0,71	80	38	816 x 524	2
OKFE 100 AC/DC 1kW	AC+DC	0,88	100	44	961 x 524	2
OKFE 100 AC/DC 1,5kW	AC+DC	0,88	100	44	961 x 524	2
OKFE 125 AC/DC 1,5kW	AC+DC	1,09	125	50	1126 x 524	2
OKFE 125 AC/DC 2kW	AC+DC	1,09	125	50	1126 x 524	2
OKFE 160 AC/DC 2kW	AC+DC	1,39	160	60	1315 x 524	2

Tab. 2.3 Technická data různých velikostí zásobníku OKFE [14]

Výhody FV ohřevu:

- žádné ztráty tepla mezi panelem a zásobníkem
- lepší prostup střechou, kabely nevyžadují tolik prostoru
- snadnější napojení do bojleru
- nejsou nutné topenářské armatury jako (expanzní nádoba, oběhové čerpadlo, atd.)
- možnost připojení svépomocně (není nutné zapojení odbornou firmou)

Nevýhody FV ohřevu:

- omezený výběr zásobníku vody
- nutná větší plocha panelů pro ohřev než u termického systému
- horší účinnost panelů v létě při vysokých teplotách
- bez státní dotace Zelená úsporám
- v zimě se panely mohou pokrýt sněhem a systém neohřívá

2.4.1 Porovnání dvou referenčních sestav**1) Fotovoltaický ohřev vody OKFE 160l 2kWp**

Sestava obsahuje:

- 1x zásobník OKFE 160 AC/DC 2kW
- 8x fotovoltaický panel IBC PolySol 250 o celkovém výkonu 2kWp
- 1x trnová konstrukce pro upevnění osmi panelů na šikmou taškovou střechu
- 1x DC jistič zdvojený
- 1x přepěťová ochrana

Cena celkem (vč. DPH): 70 770 Kč (sestava vhodná pro spotřebu 2 osob) [14]

2) Solární systém Regulus SOL 200 ZU

Sestava obsahuje:

- 2x sluneční kolektor KPC1
- 1x zásobník 200l RGC
- 1x čerpadlová skupina S1 Solar 10
- 1x expanzní nádoba 12l
- 1x solární kapalina Kolekton P Super 15l
- držáky pro uchycení kolektoru
- armatury pro připojení kolektoru a zásobníku

Cena celkem (vč. DPH): 62 907 Kč (sestava vhodná pro spotřebu 2 - 4 osob) [24]

Zhodnocení: Pokud se budeme řídit cenou sestavy, pak nejvýhodněji vychází termická sestava Regulus SOL 200 ZU, jejíž cena 62 907 Kč, což činí cenový rozdíl oproti fotovoltaickému ohřevu rovných 7 863 Kč. Do tohoto rozdílu však musíme započítat rovněž kabeláž, včetně propojovacích konektorů mezi panely a zásobníkem (tato přírážka k ceně nebyla připočtena k výsledné ceně za sestavu). Dalším významným faktem je, že na fotovoltaický ohřev nedostaneme dotaci, která je stále velmi zajímavá. Na ohřev vody činí 50% z ceny realizace, maximálně však 55 000 Kč.

Před třemi lety jsem ve své bakalářské práci zmínil možnost stavby solárního kolektoru pro ohřev TUV svépomocí. Pro fotovoltaický systém je stavba svépomocí ještě lákavější představou. Tím, že na systém není poskytována dotace, nejsme vázáni realizací přes odbornou firmu. Šikovnější kutil si může nakoupit solární panely sám, momentálně jsou pro to dokonce příhodné podmínky. Omezilo se totiž dotování fotovoltaických elektráren a počet připojení klesl, a tudíž klesla i cena panelů na trhu. Stačí jen spojit do série vhodný počet panelů, aby se dosáhlo příslušného napětí, a můžeme ohřívat. Jistá úskalí pramení z podstaty DC proudu, u kterého je problém s vypínáním a tím i s jistým namáháním panelů na zkrat.

Domnívám se, že se fotovoltaický ohřev vyplatí tomu, kdo si buď soustavu postaví sám, nebo kdo má již na střeše nainstalovanou fotovoltaickou elektrárnu a v létě má tudíž velké přebytky výkonu. Každý musí zvážit pro a proti a řídit se také stavební dispozicí domu. Tomu, kdo již nemá prostory na umístění solárního zásobníku a teplou vodu připravuje elektricky v bojleru, stačí stávající bojler nahradit bojlerem se dvěma topnými tělesy a můžeme ohřívat.

3 Stávající stav objektu

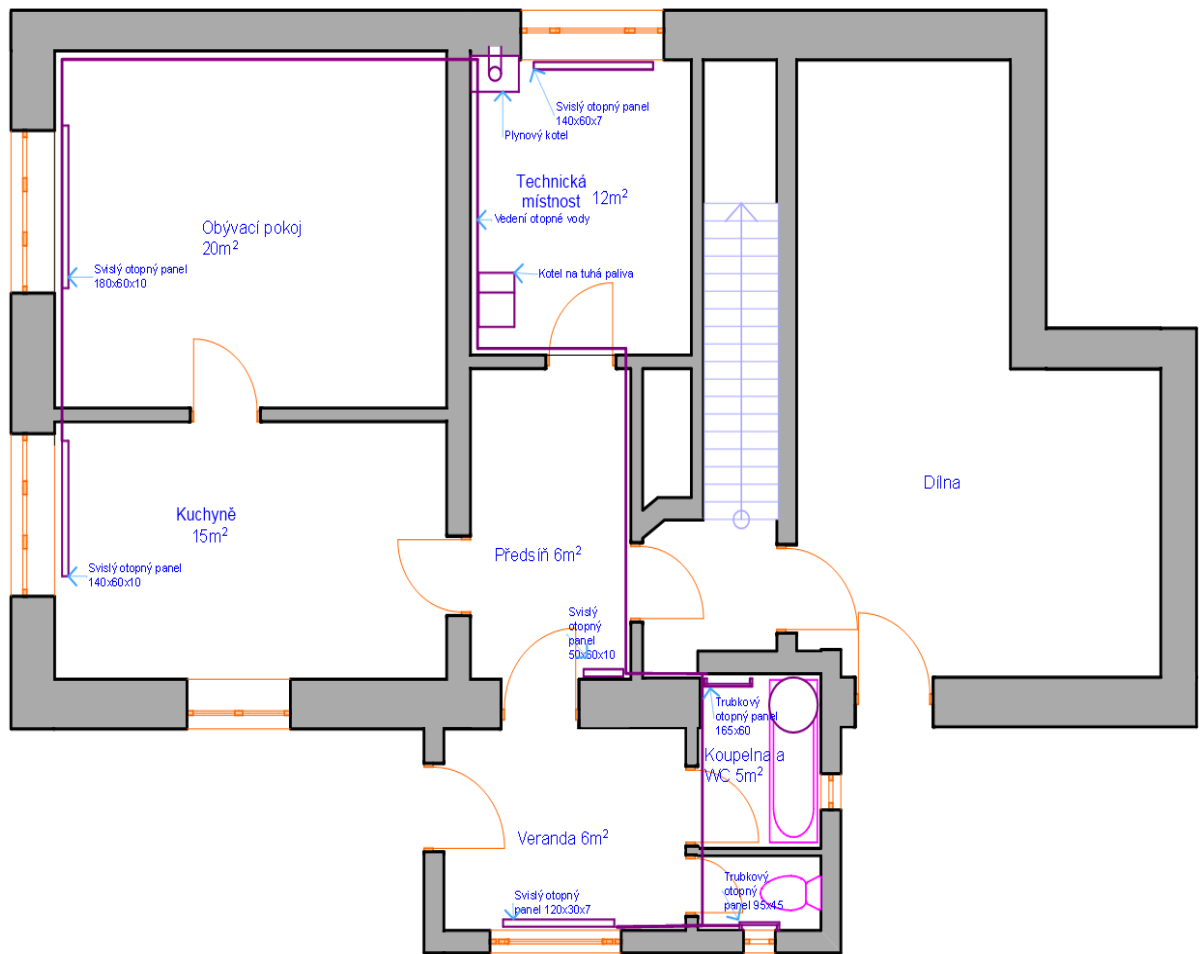
3.1 Fotografie a půdorys objektu



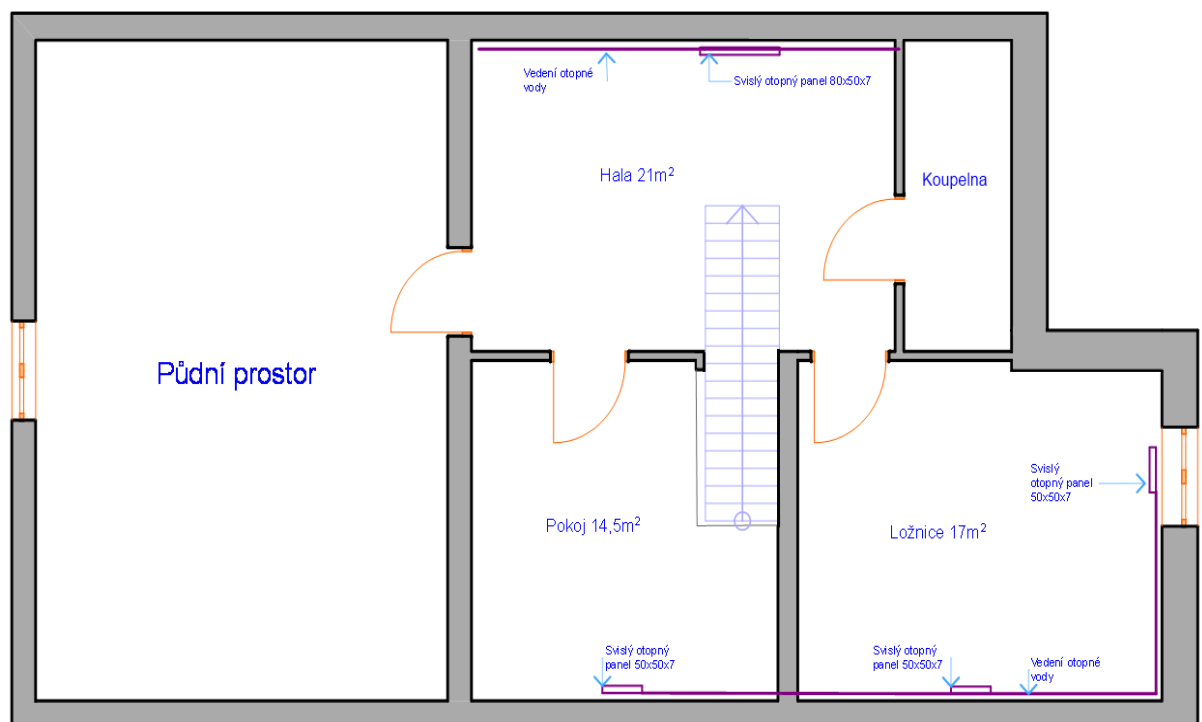
Obr. 3.1 Fotografie rodinného domu v obci Krátká Ves

Pro lepší představu o popisovaném rodinném domě v obci Krátká Ves č.p. 52 je pořízena fotografie objektu viz obr. 3.1. Střecha objektu je směřována na jih se sklonem 40° . Celková plocha střechy je 168 m^2 . Na fotografii je možné vidět sněhové zábrany na střechě, proto bude kolektorová plocha umístěna nad ně, aby v zimě nezakrýval navátý sníh kolektory. Z fotografie je patrné, že je střecha po kompletní rekonstrukci, při níž byly vyměněny i krovy a došlo k pobití novými prkny. Protože se objekt nachází ve III. sněhové oblasti dle ČSN EN 1991-1-3/Z1 [18], je vypočtena zatíženost střechy na 180 kg/m^2 + rezerva projektanta, tudíž nemusí vyvstat obavy s nosností kolektorů.

Na dalších nákresech je vidět rozložení místností s rozvodem ústředního topení viz obr. 3.2 a 3.3. V technické místnosti bude umístěn solární zásobník spolu s čerpadlovou jednotkou a regulací. Místnost je vybavena odpadem, takže zde bude možnost provádět vypouštění a napouštění solárních okruhů.



Obr. 3.2 Půdorysná plocha přízemí rodinného domu, v technické místnosti bude umístěn solární zásobník



Obr. 3.3 Půdorysná plocha podkroví rodinného domu

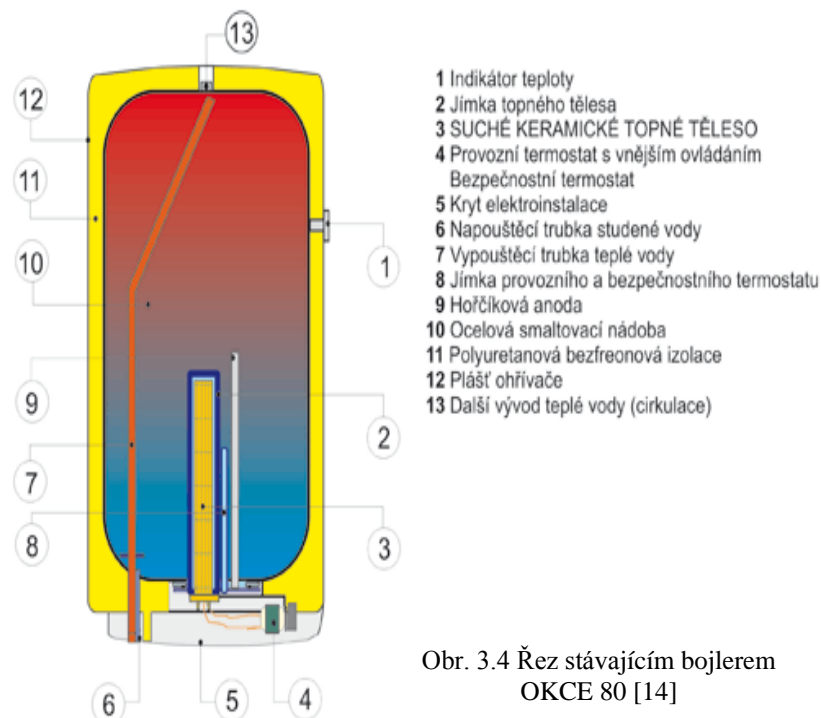
3.2 Poloha a popis objektu

Rodinný dům se nachází v obci Krátká Ves v okrese Havlíčkův Brod. Obec se nachází na souřadnicích (49° 37' 46'' s. š.) a (15° 41' 10'' v. d.) a nadmořská výška činí 550 m n. m. Dům byl postaven v roce 1925, obvodové zdi jsou provedeny z kamene zevnitř kabátované cihlou. V roce 1999 proběhla rekonstrukce podkroví s výměnou střechy a krovů. Střecha je nyní pokryta měděnými šindeli. Rekonstrukcí vznikly 3 další místnosti a tudíž byl i rozšířen a modernizován topný okruh. V podkroví se nachází druhá koupelna, která je zatím rozestavěná. Rozvody topné vody byly provedeny měděnými trubkami a rovněž proběhla výměna litinových topných těles za plechová. Mezi krovy je izolace z minerální vaty o tloušťce 2x8 cm. Okna v domě jsou zatím špaletová, ale již je naplánována jejich výměna za plastová s trojsklem. Dále bude provedeno zateplení obvodových zdí paropropustným polystyrénem o tloušťce 15cm.

3.3 Příprava TUV

V objektu se nyní připravuje teplá voda pomocí elektrického ohřívače OKCE 80 Dražice. Ohřívač slouží k akumulárnímu ohřevu teplé vody elektrickou energií pomocí 2 kW topné spirály napájené ze snížené sazby. Ohřívač je umístěn nad vanou v koupelně, což je sice výhodné z hlediska tepelných ztrát pláště ohřívače, ale zároveň kazí vzhled koupelny, která je před rekonstrukcí.

Nádoba ohřívače je vyrobena z ocelového plechu a zkoušena přetlakem 0,9 MPa. Vnitřek



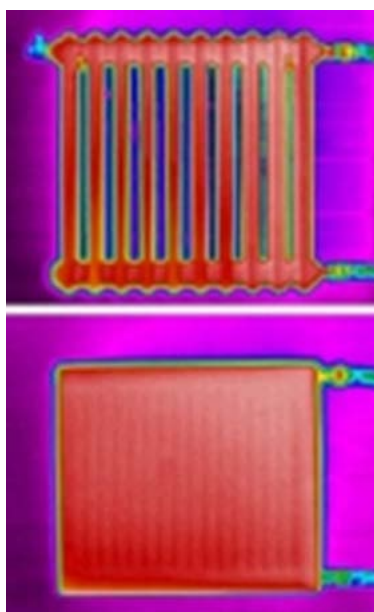
Obr. 3.4 Řez stávajícím bojlerem OKCE 80 [14]

nádoby je posmaltován. Ke spodnímu dnu nádoby je přivařena příruba, ke které je přišroubováno víko. Ve víku příruby jsou jímky pro umístění topného tělesa a čidel regulačního a bezpečnostního termostatu a také anodová tyč. Zásobník vody je izolován tvrdou polyuretanovou pěnou. Elektroinstalace je umístěna pod plastovým

odnímatelným krytem. Teplotu vody je možné nastavit termostatem. [14] Schéma ohřívače viz obr. 3.4.

3.4 Vytápění

Otopná plocha domu je 120 m² a teplota v místnostech je udržována na 21 °C. Původní topení v domě bylo kotlem na tuhá paliva typ H 412 (12 kW) [26], jednalo se o samotížný systém s otevřenou expanzní nádobou, která byla umístěna v ještě nezrekonstruované půdě. Tento systém ale nebyl příliš účinný, neboť docházelo k velké časové prodlevě při nahřívání



Obr. 3.5 Porovnání tepelné plochy deskového a litinového radiátoru termovizní kamerou [18]

radiátorů v místnostech. Pokud se do kotle přikládalo celý den, nebyl problém udržet požadovanou teplotu v místnostech. Pokud se však přestalo topit, trvalo dlouho, než se systém opět nahřál na požadovanou teplotu. Dům ale není podsklepený, proto byl kotel umístěn v technické místnosti, která je ve stejné výšce s radiátory a to byl problém, protože topná voda pomalu proudila. Proto se provedlo snížení podlahy pod kotlem, takže vznikla jakási „vana“ pod kotlem a získal se tak větší tepelný spád díky rozdílu 40 cm zapuštěného kotle.

V roce 1999 proběhla rekonstrukce podkroví. Důsledkem toho se musel rozšířit topný okruh o horní místnosti, proto byl systém nahrazen aktivním s oběhovým čerpadlem. Došlo k výměně litinových radiátorů ve spodním patře za plechové a tím se dosáhlo rychlejšího nárůstu tepla viz obr. 3.5. Podkroví

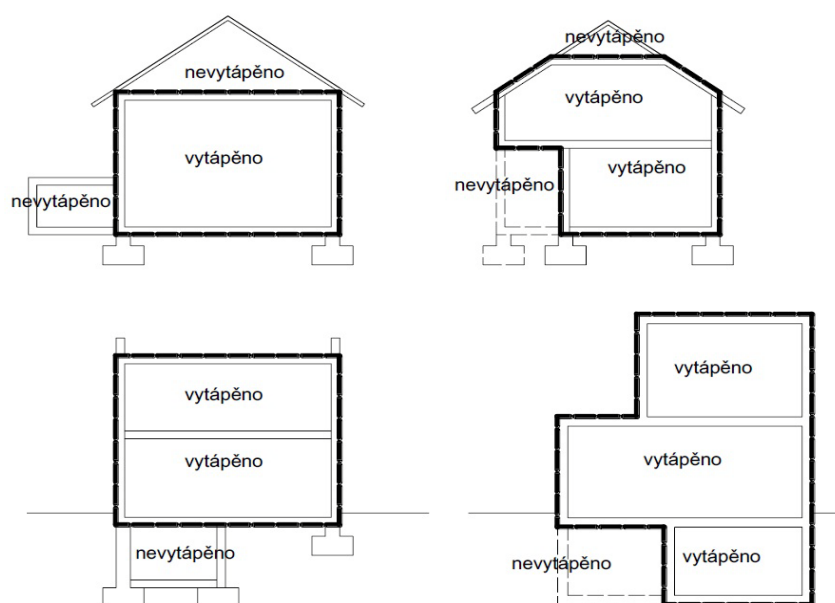
je kompletně vybaveno plechovými radiátory, v koupelně a na WC jsou osazeny topné žebříky. Otevřená expanzní nádoba byla nahrazena za uzavřenou s membránou a topný okruh byl vybaven pojistnými armaturami. Potrubní rozvod topné vody je kompletně proveden měděnými trubkami. Došlo také k výměně kotle na tuhá paliva za typ H 418, který má vyšší výkon (18 kW) [26] díky rozšíření otopné plochy. Tepelná soustava s kotlem H 418 je provozována s tepelným spádem 20°C, tedy 90°C na přívodu a 70°C na vratce (90°C/70°C).

V roce 2008 proběhla plynofikace obce a ke stávajícímu kotli na tuhá paliva přibyl plynový kotel od společnosti Protherm Panther 24KTO (24 kW) s možností ekvitermní regulace a pokojového regulátoru. Plynový kotel obsahuje dvourychlostní čerpadlo a je vybaven vnitřní expanzní nádobou o objemu 7l, která stačí na 90l topné vody. Maximální tepelný výkon je 24,6 kW a minimální 8,9 kW, účinnost je dána výrobcem 92%. Maximální spotřebu plynu deklaruje výrobce na 2,78 m³/h. [25] Tento systém pracuje také s tepelným

spádem 20°C, ovšem v hodnotách (70°C/50°C), nedoporučuje se nižší teplota na vrtané vodě kvůli rosení tepelného výměníku v plynovém kotli.

3.5 Výpočet tepelných ztrát objektu

Tepelná ztráta celého domu je suma tepelných ztrát všech konstrukcí plus tepelné ztráty infiltrace a větráním. Pro potřeby stanovení předběžných tepelných ztrát a stanovení energetické náročnosti budovy nebo pro vypracování posudku energetické náročnosti budov se používá zjednodušený výpočet tepelných ztrát celé budovy nebo zóny tzv. obálkovou metodou. Ke stanovení ploch se používají vnější rozměry konstrukcí. Hranice výpočtu se uvažuje v souladu s ČSN EN ISO 13790 [18] jako hranice vytápěných místností viz obr. 3.6.



Obr. 3.6 Příklad hranic vytápěného prostoru [19]

Objem budovy se stanoví z vnějších rozměrů, nezapočítávají se přečnívající konstrukce, atiky, balkony, lodžie a přilehlé nevytápěné části budovy. [21]

Pro výpočet tepelných ztrát jsem použil online výpočtový nástroj na portále tzb-info.cz. [18] Výstup z výpočtového programu je na obr. 3.7, 3.8, 3.9 a výstup výpočtového programu po provedení zateplení na obr. 3.10, 3.11, 3.12. Tento zjednodušený program slouží k výpočtu tepelných ztrát místností nebo pro výpočet tepelných ztrát budovy obálkovou metodou. Vstupní formulář je tabulka, kam se vkládají údaje o umístění domu, což je potřeba kvůli hodnotám o venkovní výpočtové teplotě. Dále informace o tom, jak je budova vystavována vnějším vlivům, např. poloha budovy, orientace ke světovým stranám, rozměry objektu atd.

Z těchto údajů určíme potřebný objem pro určení tepelných ztrát větráním a intenzitu výměny vzduchu. Pokud si nejsme jisti s vyplněným údajem můžeme se podívat do nápovědy ukrytou pod symbolem 3otazníků. Do řádků tabulky vyplníme i údaje o jednotlivých stavebních částech obálky budovy.

3.5.1 Výpočet tepelných ztrát objektu před rekonstrukcí

Lokalita a vlastnosti budovy

Havlíčkův Brod	Poloha budovy	Chráněná
(Tabulka)	???	
Venkovní výpočtová teplota t_e	Druh budovy	Osamělá
-17 °C	???	???
Nastavit teplotu u stěn	Charakteristické číslo budovy B	4 Pa ^{0,67}
Krajina	Přirážka p_2 na urychlení zátoku	0
Normální	???	???

Místnost (u obálkové metody to jsou další vlastnosti budovy)

Číslo a název místnosti		
Zvětšení char. čísla budovy ΔB	0 Pa ^{0,67}	???
Venkovní výpočtová teplota t_e	-17 °C	???
Nastavit teplotu u stěn		
Vnitřní výpočtová teplota t_i	20 °C	(Tabulka)
Orientace místnosti	SZ	=> přirážka $p_3 = 0,05$
Počet těsných dveří	0	???
Počet netěsných dveří	2	???
Charakteristické číslo místnosti M	0,7	???
Tepelný zisk Q_z		W
		???

Rozměry

Půdorysný rozměr a	7 m	Půdorysný rozměr b	8 m	Půdorysná plocha místnosti P	56 m ²
	???				???
Konstrukční výška VK	2,8 m	Světlná výška VS	2,55 m	Vypočtená plocha obálkových konstrukcí ΣS_1	196 m ²
	???		???		???
Vytápěný objem V	156,8 m ³	Objem místnosti V_m	142,8 m ³	Sečtená plocha všech obálkových konstrukcí ΣS_2	259,6 m ²
					???

Obr. 3.7 Zadávání charakteristiky objektu a rozměrů před zateplením [18]

Parametry obálkové konstrukce (místnosti / budovy)

	Typ ??? konstr.	Počet	t _{e,i} ??? [°C]	U ??? [W/m ² K]	Plocha konstrukce						Q _o [W]	Infiltrace		
					d ??? [m]	v ??? [m]	S ??? [m ²]	S _d ??? [m ²]	S _v ??? [m ²]	S-S _d -S _v [m ² ???]		i _L (Tabulka) [m ³ /m.s.Pa ^{0.67}]	L ??? [m]	
1.	vložit smazat	SO	1	-17	2,37	17	2,8	47.6	0	0	47.6	4174	x 10 ⁻⁴	
2.	vložit smazat	SO	1	-17	0,56	3	2,8	8.4	0	0	8.4	174	x 10 ⁻⁴	
3.	vložit smazat	SO	1	-17	0,73	9	2,5	22.5	0	0	22.5	607.7	x 10 ⁻⁴	
4.	vložit smazat	SO	1	-17	0,73	7	2,8	19.6	0	14.28	5.35	144.5	x 10 ⁻⁴	
5.	vložit smazat	OZ	2	-17	2,4	1,8	1,3	2.34	0	0	4.68	415.6	x 10 ⁻⁴	
6.	vložit smazat	OZ	1	-17	2,4	1,2	1,3	1.56	0	0	1.56	138.5	x 10 ⁻⁴	
7.	vložit smazat	OZ	1	-17	2,5	1,8	1,3	2.34	0	0	2.34	216.5	x 10 ⁻⁴	
8.	vložit smazat	OZ	1	-17	2,5	1,65	1,5	2.47	0	0	2.47	228.5	x 10 ⁻⁴	
9.	vložit smazat	DO	2	-17	3,5	1,8	2	1.6	0	0	3.2	414.4	x 10 ⁻⁴	
10.	vložit smazat	STR	1	-17	1,5	5	7	35	0	0	35	1942.5	x 10 ⁻⁴	
11.	vložit smazat	PDL	1	+5	2,35	5	7	35	0	0	35	1233.8	x 10 ⁻⁴	
12.	vložit smazat	SO	1	-17	0,43	6	2,5	15	0	0	15	238.7	x 10 ⁻⁴	
13.	vložit smazat	SCH	1	-17	,27	18	2,5	45	0	0	45	449.6	x 10 ⁻⁴	
14.	vložit smazat	STR	1	-17	,2	9	3,5	31.5	0	0	31.5	233.1	x 10 ⁻⁴	
15.	vložit smazat		0	-17	0	0	0	0	0	0	0	0	x 10 ⁻⁴	
16.	vložit smazat		0	-17	0	0	0	0	0	0	0	0	x 10 ⁻⁴	
17.	vložit smazat		0	-17	0	0	0	0	0	0	0	0	x 10 ⁻⁴	
18.	vložit smazat		0	-17	0	0	0	0	0	0	0	0	x 10 ⁻⁴	
19.	vložit smazat		0	-17	0	0	0	0	0	0	0	0	x 10 ⁻⁴	
20.	vložit smazat		0	-17	0	0	0	0	0	0	0	0	x 10 ⁻⁴	

Obr. 3.8 Zadávání parametrů obálky budovy před zateplením [18]

Tepelná ztráta prostupem

ΣQ_o	10611 W	???
Průměrný součinitel prostupu tepla k_o	1.105 W/m ² K	???
Přirážka p_1	0.17	???
Přirážka p_2	0	???
Přirážka p_3	0.05	???
Q_p	12900 W	???

Tepelná ztráta větráním / infiltrací

Tepelná ztráta infiltrací Q_{inf} =	0 W	???
Tepelná ztráta větracím vzduchem $Q_{v,v}$ =	763 W	???
Tepelná ztráta větráním Q_v =	763 W	???
Vypočtená intenzita výměny vzduchu $n_{vypočtená}$ =	0.4	???

Celková tepelná ztráta místnosti

Tepelná ztráta místnosti Q_o =	13663 W	???
Měrná tepelná ztráta místnosti q_o =	87.1 W/m ³	???

Obr. 3.9 Výsledné tepelné ztráty budovy před zateplením [18]

Z výpočtu je patrné, že před provedenou rekonstrukcí je tepelná ztráta objektu 13 663 W, což odpovídá hodnotě pro starý nezateplený dům.

3.5.2 Výpočet tepelných ztrát objektu po provedení rekonstrukce

Lokalita a vlastnosti budovy

Havlíčkův Brod (Tabulka)	Poloha budovy	Chráněná
Venkovní výpočtová teplota t_e -17 °C <input type="button" value="Nastavit teplotu u stěn"/>	Druh budovy	Osamělá
Krajina	Normální	
	Charakteristické číslo budovy B	4 Pa ^{0.67}
	Přirážka p_2 na urychlení zátoku	0

Místnost (u obálkové metody to jsou další vlastnosti budovy)

Číslo a název místnosti	
Zvětšení char. čísla budovy ΔB	0 Pa ^{0.67}
Venkovní výpočtová teplota t_e	-17 °C
Vnitřní výpočtová teplota t_i	20 °C
Orientace místnosti	SZ => přirážka p_3 = 0.05
Počet těsných dveří	0
Počet netěsných dveří	2
Charakteristické číslo místnosti M	0.7
Tepelný zisk Q_z	

Rozměry

Půdorysný rozměr a	7 m	Půdorysný rozměr b	8 m	Půdorysná plocha místnosti P	56 m ²
Konstrukční výška VK	2,8 m	Světlná výška VS	2,55 m	Vypočtená plocha obálkových konstrukcí ΣS_1	196 m ²
Vytápěný objem V	156.8 m ³	Objem místnosti V_m	142.8 m ³	Sečtená plocha všech obálkových konstrukcí ΣS_2	259.8 m ²

Obr. 3.10 Zadávání charakteristiky objektu a rozměrů po provedení zateplení [18]

Parametry obálkové konstrukce (místnosti / budovy)

	Typ ??? konstr.	Počet	t _{e,i} ??? [°C]	U ??? [W/m ² K]	Plocha konstrukce						Q _o [W]	Infiltrace		
					d ??? [m]	v ??? [m]	S ??? [m ²]	S _d ??? [m ²]	S _v ??? [m ²]	S-S _d -S _v [m ² ???]		i _L (Tabulka) [m ³ /m.s.Pa ^{0.67}]	L ??? [m]	
1.	vložit smazat	SO	1	-17	0,23	17	2,8	47,6	0	0	47,6	405.1	x 10 ⁻⁴	
2.	vložit smazat	SO	1	-17	0,18	3	2,8	8,4	0	0	8,4	55.9	x 10 ⁻⁴	
3.	vložit smazat	SO	1	-17	0,19	9	2,5	22,5	0	0	22,5	158.2	x 10 ⁻⁴	
4.	vložit smazat	SO	1	-17	0,19	7	2,8	19,6	0	14,25	5,35	37.6	x 10 ⁻⁴	
5.	vložit smazat	OZ	2	-17	0,7	1,8	1,3	2,34	0	0	4,68	121.2	x 10 ⁻⁴	
6.	vložit smazat	OZ	1	-17	0,7	1,2	1,3	1,56	0	0	1,56	40.4	x 10 ⁻⁴	
7.	vložit smazat	OZ	1	-17	0,7	1,8	1,3	2,34	0	0	2,34	60.6	x 10 ⁻⁴	
8.	vložit smazat	OZ	1	-17	0,7	1,65	1,5	2,47	0	0	2,47	64	x 10 ⁻⁴	
9.	vložit smazat	DO	2	-17	1,2	,8	2	1,6	0	0	3,2	142.1	x 10 ⁻⁴	
10.	vložit smazat	STR	1	-17	0,23	5	7	35	0	0	35	297.9	x 10 ⁻⁴	
11.	vložit smazat	PDL	1	+5	1,2	5	7	35	0	0	35	630	x 10 ⁻⁴	
12.	vložit smazat	SO	1	-17	0,2	6	2,5	15	0	0	15	111	x 10 ⁻⁴	
13.	vložit smazat	SCH	1	-17	,27	18	2,5	45	0	0	45	449.6	x 10 ⁻⁴	
14.	vložit smazat	STR	1	-17	,2	9	3,5	31,5	0	0	31,5	233.1	x 10 ⁻⁴	
15.	vložit smazat		0	-17	0	0	0	0	0	0	0	0	x 10 ⁻⁴	
16.	vložit smazat		0	-17	0	0	0	0	0	0	0	0	x 10 ⁻⁴	
17.	vložit smazat		0	-17	0	0	0	0	0	0	0	0	x 10 ⁻⁴	
18.	vložit smazat		0	-17	0	0	0	0	0	0	0	0	x 10 ⁻⁴	
19.	vložit smazat		0	-17	0	0	0	0	0	0	0	0	x 10 ⁻⁴	
20.	vložit smazat		0	-17	0	0	0	0	0	0	0	0	x 10 ⁻⁴	

Obr. 3.11 Zadávání parametrů obálky budovy po provedeném zateplení [18]

Tepelná ztráta prostupem

ΣQ_o	2807 W	???
Průměrný součinitel prostupu tepla k_o	0.292 W/m ² K	???
Přirážka p_1	0.04	???
Přirážka p_2	0	???
Přirážka p_3	0.05	???
Q_p	3070 W	???

Tepelná ztráta větráním / infiltrací

Tepelná ztráta infiltrací Q_{inf} =	0 W	???
Tepelná ztráta větracím vzduchem $Q_{v,v}$ =	763 W	???
Tepelná ztráta větráním Q_v =	763 W	???
Vypočtená intenzita výměny vzduchu $n_{vypočtená}$ =	0.4	???

Celková tepelná ztráta místnosti

Tepelná ztráta místnosti Q_o =	3833 W	???
Měrná tepelná ztráta místnosti q_o =	24.4 W/m ³	???

Obr. 3.12 Výsledné tepelné ztráty budovy po provedeném zateplení [18]

Z výsledků je zřejmé, že pokud se obálka budovy zateplí 15 cm paropropustným polystyrenem, dojde k výměně oken za plastová (provedení trojsklo) a k výměně dvou vstupních netěsných dveří a provede se dodatečné zateplení stropu, tepelné ztráty klesnou na hodnotu 3 833 W.

4 Návrh solárního systému pro ohřev TUV

U aktivních systémů se energie záření zachycuje absorpční plochou slunečních kolektorů. Ve formě tepla se zachycená energie předává teplonosné látce, kterou je nejčastěji voda nebo vzduch. Teplonosná tekutina zprostředkuje další dopravu tepla ke spotřebičům, nejčastěji do solárního zásobníku k ohřevu vody nebo k podpoře vytápění.

Výpočtem aktivních slunečních systémů se rozumí především výpočet plochy kolektorů potřebných pro zachycení potřebného záření pro ohřev vody. Dalším úkolem výpočtu solárních systémů je sestavit pro zařízení se známou plochou kolektorů tepelnou bilanci, z níž je patrné, jaké bude solární pokrytí soustavy a kolik energie bude potřeba dodat z jiného zdroje. Tepelnou bilanci sestavujeme buď pro celý rok, nebo jen pro určitou část roku, která je pro nás stěžejní.

4.1 Solární potenciál pro obec Krátká Ves

Pro solární potenciál místa potřebujeme znát: $Q_{S \text{ den teor}}$, $Q_{D \text{ den}}$, τ_p . V první řadě si musíme stanovit aktuální polohy slunce vůči našemu solárnímu systému. Tyto parametry se zjednodušeně stanovují pro charakteristické dny v měsíci. Charakteristické dny spolu se sluneční deklinací δ viz tab. 4.1.

Charakteristický den v měsíci	Sluneční deklinace
22. XII	- 23° 27'
22. XI a 21. I	- 20°
23. X a 20. II	- 11° 30'
23. IX a 21. III	0°
23. VIII a 21. IV	11° 30'
23. VII a 22. V	20°
22. VI	23° 27'

Tab. 4.1 Sluneční deklinace δ pro charakteristický den v jednotlivých měsících [1]

Náš solární systém v obci Krátká Ves bude mít sklon 40° (tzn. $\alpha = 40^\circ$) podle sklonu střechy a bude orientován na jih (tzn. $a_s = 0^\circ$). Pro usnadnění výpočtu jsou v tab. 4.2 uvedeny hodnoty výšky slunce h pro místa na 50° severní šířky a v tab. 4.3 hodnoty azimutu slunce a .

Měsíc	Výška slunce nad obzorem h [rad] v denní hodině τ							
	12	11 13	10 14	9 15	8 16	7 17	6 18	5 19
XII	16,55	15,35	11,88	6,43	-	-	-	-
XI a I	20,00	18,75	15,20	9,50	-	-	-	-
X a II	28,50	27,12	23,13	17,02	9,33	-	-	-
IX a IV	40,00	38,33	33,86	27,03	18,75	9,58	-	-
VII a V	51,50	49,57	44,27	36,73	27,88	18,40	8,78	-
VII a V	60,00	57,72	51,72	43,57	34,62	24,73	15,18	6,07
VI	63,55	60,97	54,52	46,20	36,85	27,23	17,75	8,75

Tab. 4.2 Výška slunce nad obzorem h pro místa na 50° severní šířky [1]

Měsíc	Azimut slunce a [rad] v denní hodině τ							
	5	6	7	8	9	10	11	
XII	-	-	-	-	-40,77	-27,95	-14,25	
XI a I	-	-	-	-	-42,35	-29,13	-14,88	
X a II	-	-	-	-59,32	-46,43	-32,20	-16,55	
IX a III	-	-	-78,40	-66,17	-52,55	-37,00	-19,28	
VIII a IV	-	-97,43	-86,00	-73,77	-59,83	-43,17	-23,02	
VII a V	-114,10	-103,17	-92,67	-81,43	-66,50	-49,10	-27,08	
VI	-116,28	-105,57	-94,70	-83,17	-69,60	-52,20	-29,30	
Měsíc	12	13	14	15	16	17	18	19
XII	0,00	14,25	27,95	40,77	-	-	-	-
XI a I	0,00	14,88	29,13	42,35	-	-	-	-
X a II	0,00	16,55	32,20	46,43	59,32	-	-	-
IX a III	0,00	19,28	37,00	52,55	66,17	78,40	-	-
VIII a IV	0,00	23,02	43,17	59,83	73,77	86,00	97,43	-
VII a V	0,00	27,08	49,10	66,50	81,43	92,67	103,17	114,10
VI	0,00	29,30	52,20	69,60	83,17	94,70	105,57	116,28

Tab. 4.3 Azimut slunce a [1]

Při známé výšce slunce nad obzorem h a známém azimutu slunce a lze stanovit úhel dopadu slunečních paprsků na obecně položenou plochu. Tedy:

$$\cos \gamma = \sin h \cdot \cos \alpha + \cos h \cdot \sin \alpha \cdot \cos(a - a_s) \quad [\text{rad}]$$

kde: α – úhel skonu osluněné plochy od vodorovné roviny

a_s – azimutový úhel normály osluněné plochy (ve smyslu otáčení hodinových ručiček je kladná hodnota (+) a proti otáčení hodinových ručiček (-)

Spočtené hodnoty úhlu dopadu slunečních paprsků na obecně položenou plochu viz tab. 4.4

4.1.1 Úhel dopadu slunečních paprsků v obci Krátká Ves

Měsíc	Cos γ v denní hodině τ [rad]					
	12	13	14	15	16	17
XII.	0,83	0,8	0,7	0,57	-	-
XI. a I.	0,87	0,84	0,74	0,6	-	-
X. a II.	0,93	0,9	0,8	0,65	0,45	-
IX. a III.	0,99	0,95	0,85	0,7	0,49	0,26
VIII. a IV.	0,99	0,97	0,87	0,72	0,52	0,28
VII. a V.	0,99	0,95	0,83	0,71	0,51	0,29
VI.	0,97	0,94	0,85	0,71	0,52	0,3
Měsíc	Cos γ v denní hodině τ [rad]					
	6	7	8	9	10	11
XII.	-	-	-	0,57	0,71	0,8
XI. a I.	-	-	-	0,6	0,74	0,84
X. a II.	-	-	0,45	0,65	0,8	0,9
IX. a III.	-	0,26	0,5	0,7	0,85	0,95
VIII. a IV.	0,04	0,29	0,52	0,72	0,87	0,97
VII. a V.	0,06	0,29	0,51	0,71	0,86	0,95
VI.	0,07	0,3	0,52	0,71	0,85	0,94

Tab. 4.4 Úhel dopadu slunečních paprsků v denní hodině v obci Krátká Ves

Nyní vypočteme intenzitu přímého slunečního záření na plochu kolmou ke směru paprsků. Základem je solární konstanta $1360 \cdot \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$, tato hodnota se však sníží vlivem prostupu záření přes atmosféru, kde jsou prachové částičky, vodní pára a jiné plyny v atmosféře. Tento koeficient nazýváme znečištění atmosféry Z . Obec Krátká Ves leží v kraji Vysočina, který není zatížen průmyslovými exhalacemi, proto zvolíme součinitel znečištění atmosféry $Z = 2,7$.

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

kde I_0 – sluneční konstanta ($1360 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$)

Z – součinitel znečištění atmosféry

ε – součinitel, který závisí na výšce slunce nad obzorem a na nadmořské výšce

$$\varepsilon = \frac{9,38076 \cdot [\sin h + (0,003 + \sin^2 h)^{0,5}]}{2,0015 \cdot (1 - H \cdot 10^{-4})} + 0,91018 \quad [-]$$

kde h – výška slunce nad obzorem

H – nadmořská výška daného místa (pro obec Krátká Ves je to 550 m)

Pro nadmořskou výšku 550 m je to:

$$\varepsilon = 4,98279 \cdot [\sin h + (0,03 + \sin^2 h)^{0,5}] + 0,91018 \quad [-]$$

Intenzita přímého záření na plochu kolmou k paprskům v obci Krátká Ves viz tab. 4.5

Měsíc	Intenzita záření I_{pn} [$W \cdot m^{-2}$] v denní hodině τ							
	12	11 13	10 14	9 15	8 16	7 17	6 18	5 19
XII.	680	655	560	360	-	-	-	-
XI. a I.	742	717	645	487	-	-	-	-
X. a II.	845	825	775	672	464	-	-	-
IX. a III.	942	923	879	792	683	467	-	-
VIII. a IV.	997	985	947	883	807	668	449	-
VII. a V.	1023	1003	996	947	883	783	635	342
VI.	1037	1026	993	986	917	820	702	470

Tab. 4.5 Výsledné hodnoty intenzity přímého záření na plochu kolmou ke směru paprsků

Musíme však vzít v potaz natočení solárních kolektorů vůči paprskům dopadající kolmo na osluněnou plochu, tzn. že intenzitu přímého záření I_{pn} vynásobíme cosinem úhlu γ , který udává vzájemnou polohu kolektoru a slunce. Použijeme vztah:

$$I_p = I_{pn} \cdot \cos \gamma \quad [W \cdot m^{-2}]$$

a dostaneme výsledné hodnoty intenzity přímého záření.

4.1.2 Intenzita přímého záření na plochu kolektoru v obci Krátká Ves

Výsledné hodnoty intenzity přímého záření jsou spočteny v tab. 4.6

Měsíc	Intenzita záření I_p [$W \cdot m^{-2}$] v denní hodině τ					
	6	7	8	9	10	11
XII.	-	-	-	205	398	524
XI. a I.	-	-	-	292	477	602
X. a II.	-	-	209	437	620	743
IX. a III.	-	121	342	554	747	877
VIII. a IV.	18	194	420	636	824	956
VII. a V.	38	227	450	672	857	953
VI.	49	246	477	700	844	964

Měsíc	Intenzita záření I_p [$W \cdot m^{-2}$] v denní hodině τ							
	12	13	14	15	16	17	18	19
XII.	564	524	392	205	-	-	-	-
XI. a I.	646	602	477	292	-	-	-	-
X. a II.	786	743	620	437	209	-	-	-
IX. a III.	933	877	747	554	335	121	-	-
VIII. a IV.	987	955	824	636	420	187	18	-
VII. a V.	1013	953	827	672	450	227	40	10
VI.	1006	964	844	700	477	246	50	9

Tab. 4.6 Spočtená intenzita přímého záření v denní hodině

Při nepřízní počasí, např. zatažená obloha, průtrž mračen nebo vysoká oblačnost, pohlcuje absorbér tzv. difúzní záření. Toto záření se spočítá dle vztahu:

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

kde: α – sklon solárních kolektorů (náš případ $\alpha = 40^\circ$)

r – reflexní schopnost okolních ploch, tzv. albedo (náš případ $r = 0,2$)

I_{ph} – intenzita přímého záření na vodorovnou plochu, dle vztahu

I_{Dh} – intenzita difúzního záření na vodorovnou plochu, dle vztahu

$$I_{ph} = I_{pn} \cdot \sin h \quad [W \cdot m^{-2}]$$

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

4.1.3 Intenzita difúzního záření na plochu kolektoru v obci Krátká Ves

Výsledné hodnoty intenzity difúzního záření jsou spočteny viz tab. 4.7

Měsíc	Intenzita záření $I_D [W \cdot m^{-2}]$ v denní hodině τ							
	12	11 13	10 14	9 15	8 16	7 17	6 18	5 19
XII.	70	67	57	37	-	-	-	-
XI. a I.	78	76	67	50	-	-	-	-
X. a II.	95	94	87	72	50	-	-	-
IX. a III.	109	105	102	93	76	49	-	-
VIII. a IV.	112	113	110	105	93	76	48	-
VII. a V.	120	119	116	109	101	86	65	35
VI.	115	116	113	108	100	90	72	46

Tab. 4.7 Spočtená intenzita difúzního záření v denní hodině

Výsledná intenzita záření neboli globální záření je dáno součtem intenzity přímého a difúzního záření, tedy:

$$I = I_p + I_D \quad [W \cdot m^{-2}]$$

4.1.4 Výsledná intenzita záření pro obec Krátká Ves

Výsledné hodnoty celkového záření pro obec Krátká Ves je v tab. 4.8

Měsíc	Intenzita záření $I [W \cdot m^{-2}]$ v denní hodině τ							
	5	6	7	8	9	10	11	
XII.	-	-	-	-	242	455	591	
XI. a I.	-	-	-	-	342	544	678	
X. a II.	-	-	-	259	509	707	837	
IX. a III.	-	-	170	418	647	849	982	
VIII. a IV.	-	66	270	513	741	934	1069	
VII. a V.	35	103	313	551	781	973	1072	
VI.	46	121	336	577	808	957	1080	
Měsíc	Intenzita záření $I [W \cdot m^{-2}]$ v denní hodině τ							
	12	13	14	15	16	17	18	19
XII.	634	591	449	242	-	-	-	-
XI. a I.	724	687	544	342	-	-	-	-
X. a II.	881	837	707	509	259	-	-	-
IX. a III.	1042	982	849	647	411	170	-	-
VIII. a IV.	1099	1068	934	741	513	263	66	-
VII. a V.	1133	1072	943	781	551	313	105	45
VI.	1121	1080	957	808	577	336	122	55

Tab. 4.8 Výsledná intenzita záření pro obec Krátká Ves

Dopadající energii na plochu kolektoru můžeme spočítat buď planimetrováním plochy pod křivkou $I = f(\tau)$, nebo číselně jakou součet hodnot I pro jednotlivé hodiny:

$$Q_{Sdenteor} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} I d\tau = \sum_t I \cdot \Delta t \quad [kWh \cdot m^{-2}]$$

kde: Δt je pro náš případ 1h

Teoretické množství energie v charakteristických dnech je uvedeno v tab. 4.9 nasčítáním jednotlivých přírůstků za každou hodinu pro daný měsíc.

$Q_{S\text{den}\text{teor}} [kWh \cdot m^{-2}]$						
XII.	XI. a I.	X. a II.	IX. a III.	VIII. a IV.	VII. a V.	VI.
3,2	3,8	5,5	7,1	8,2	8,7	9

Tab. 4.9 Teoretické množství energie, které dopadne během dne na námi počítanou plochu

Teoretické množství energie $Q_{S\text{den}\text{teor}}$ dopadá na náš systém jen ve slunečných dnech, kdy slunce svítí nepřetržitě po celou dobu. Takový případ je ovšem v našich klimatických podmínkách poměrně vzácný. Nejčastěji se během dne střídá jasná a zatažená obloha. Při jasné obloze působí na osluněnou plochu intenzita celkového záření I ($I = I_p + I_D$), kdežto při zatažené obloze působí pouze intenzita difúzního záření I_D . Abychom snížili $Q_{S\text{den}\text{teor}}$, musíme spočítat poměrnou hodnotu mezi skutečnou dobou slunečního svitu a hodnotou tabulkovou. Tato hodnota se nazývá poměrná doba slunečního svitu τ_p . Teoretická doba slunečního svitu je pro charakteristické dny v tab. 4.10.

Teoretická doba slunečního svitu $\tau_{\text{teor}} [h]$											
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
256	283	372	417	487	490	487	431	360	314	248	243

Tab. 4.10 Teoretická doba slunečního svitu pro jednotlivé měsíce [1]

Hodnoty skutečné doby slunečního svitu jsou stanoveny měřením v daném místě a znázorněny v tab. 4.11.

Skutečná doba slunečního svitu $\tau_{\text{skut}} [h]$											
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
34	57	124	153	210	215	209	211	153	114	45	33

Tab. 4.11 Skutečná doba slunečního svitu v jednotlivých měsících pro námi zvolenou lokalitu [12]

Poměrem hodnot $\tau_{\text{teor}} / \tau_{\text{skut}}$ získáme poměrnou dobu slunečního svitu, tedy:

$$\tau_p = \frac{\tau_{\text{skut}}}{\tau_{\text{teor}}} \quad [-]$$

Poměrem hodnot $\tau_{\text{teor}} / \tau_{\text{skut}}$ dostaneme v tab. 4.12.

Poměrná doba slunečního svitu $\tau_p[-]$											
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
0,13	0,27	0,33	0,37	0,43	0,44	0,43	0,49	0,43	0,36	0,18	0,14

Tab. 4.12 Spočtená poměrná doba slunečního svitu během dne v jednotlivých měsících

Množství energie z difúzního záření. To získáme součtem přírůstků energie difúzního záření za každou hodinu podle vztahu:

$$Q_{Dden} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} I_D d\tau = \sum_t I_D \cdot \Delta t \quad [kWh \cdot m^{-2}]$$

kde: Δt – je 1 hodina

Spočtené množství energie z difúzního záření je v tab. 4.13

$Q_{Dden} [kWh \cdot m^{-2}]$						
XII.	XI. a I.	X. a II.	IX. a III.	VIII. a IV.	VII. a V.	VI.
0,4	0,46	0,7	0,96	1,2	1,4	1,41

Tab. 4.13 Spočtené množství energie, kterou získáme z difúzního záření dopadající během dne na osluněnou plochu

4.1.5 Výsledný solární potenciál pro obec Krátká Ves

Skutečnou energii dopadající na osluněnou plochu bychom dostali z hodnot $Q_{Sden\text{ teor}}$, Q_{Dden} a τ_p podle vztahu:

$$Q_{Sden} = \tau_p \cdot Q_{Sdenteor} + (1 - \tau_p) \cdot Q_{Dden} \quad [kWh \cdot m^{-2}]$$

Pro získání přesnější hodnoty Q_{Sden} jsem použil program PVgis [20], kde jsem po zadání souřadnic domu obdržel solární potenciál místa v tab. 4.14.

$Q_{Sden} [kWh \cdot m^{-2}]$											
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
1,11	2,07	3,49	5,13	5,12	5,24	5,09	4,91	3,82	2,58	1,32	1,12

Tab. 4.14 Celkové množství energie dopadající na námi zvolenou plochu v jednotlivých měsících [20]

Pro lepší názornost, kolik energie nám dopadne na náš systém s kolektory, se udává měsíční a roční úhrn celkové dopadající energie. Celkové množství energie dopadající za měsíc získáme jednoduše vynásobením denního úhrnu s počtem dní v měsíci, tedy:

$$Q_{Smesíc} = Q_{Sden} \cdot n \quad [kWh \cdot m^{-2}]$$

kde: n – počet dnů v měsíci

Vypočtené celkové množství energie pro naše solární místo je v tab. 4.15

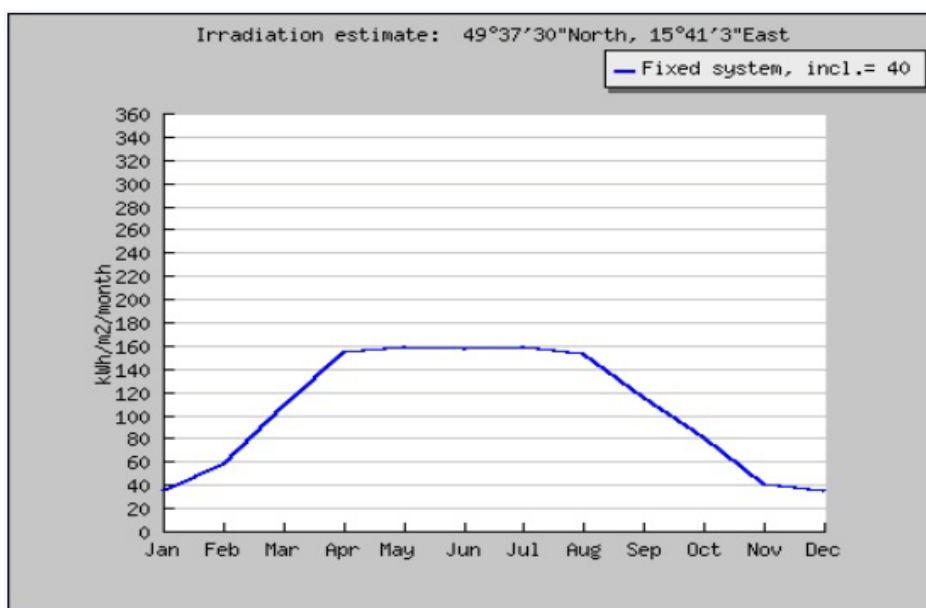
$Q_{S\text{ měsíc}} [\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}]$											
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
34,4	58	108	154	159	157	158	152	115	80	39,6	34,6

Tab. 4.15 Celkové množství energie dopadající na osluněnou plochu pro jednotlivé měsíce

Roční úhrn energie, který dopadne na naše kolektory je tedy:

$$Q_{Srok} = \sum Q_{S\text{ měsíc}} = 1250 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$$

Grafické znázornění měsíčních úhrnů v roce pro náš systém viz graf. 4.1.



Graf. 4.1 Celkové množství energie dopadající na osluněnou plochu v jednotlivých měsících

Nyní známe celkovou energii dopadající na náš systém v obci Krátká Ves. Energie, která dopadne na náš systém, se přemění s jistou účinností. Tato účinnost je dána kvalitou kolektoru, zejména absorberu v pohlcování záření. Rovněž je zapotřebí znát střední hodnotu intenzity slunečního záření. Tu spočítáme podle vzorce:

$$I_{stř} = \frac{1}{\tau_{teor}} \cdot \int_{\tau_1}^{\tau_2} Id\tau = \frac{Q_{Sdenteor}}{\tau_{teor}} \quad [W \cdot m^{-2}]$$

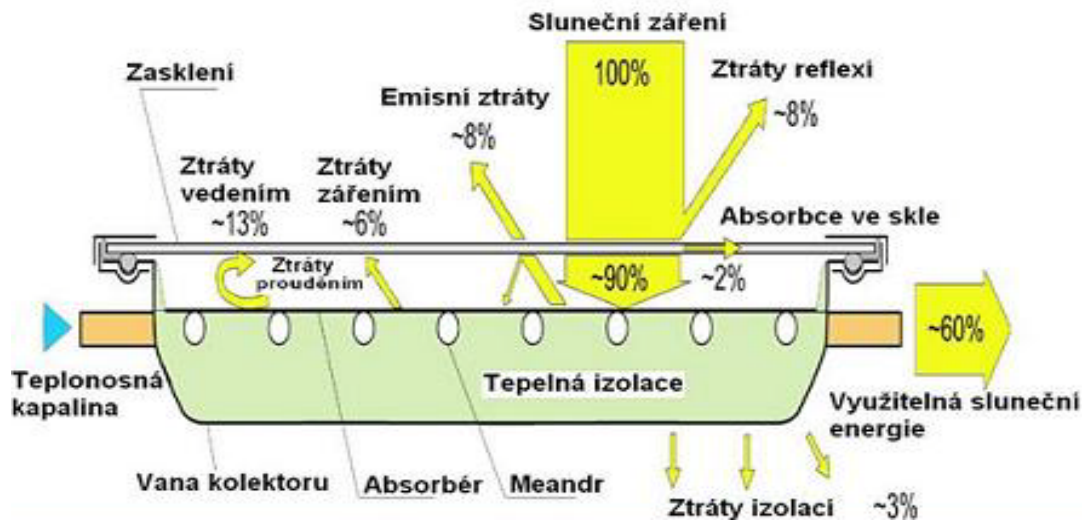
Vypočtená intenzita slunečního záření pro jednotlivé měsíce je v tab. 4.16.

$I_{stř} [W \cdot m^{-2}]$						
XII.	XI. a I.	X. a II.	IX. a III.	VIII. a IV.	VII. a V.	VI.
407	460	543	591	585	554	551

Tab. 4.16 Střední intenzita záření pro osluněnou plochu v jednotlivých měsících

4.2 Účinnost kolektoru

Každé zařízení přeměňující jeden druh energie na jiný vykazuje určité ztráty. Nejinak je tomu i u solárních kolektorů. Solární kolektor má ztráty jak tepelné, tak i optické. Pro lepší představu toku ztrát viz obr. 4.1.



Obr. 4.1 Ztráty energie v plochem kolektoru [18]

Energetická bilance solárního kolektoru: [18]

$$\frac{dQ}{dt} = Q_s - Q_{z,o} - Q_{z,t} - Q_k \text{ obecný zápis}$$

$$Q_K = Q_S - Q_{z,o} - Q_{z,t} \text{ ustálené podmínky } \frac{dQ}{dt} = 0$$

kde: Q_S – dopadající výkon slunečního záření ($Q_S = G \cdot A_K$)

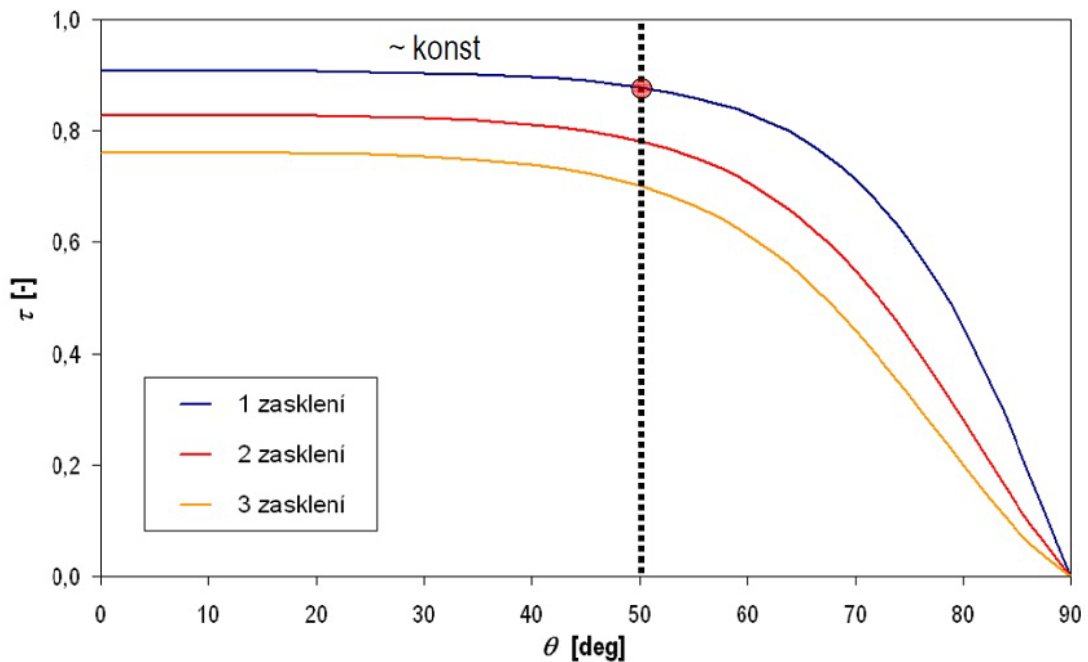
$Q_{z,o}$ – optické ztráty ($Q_{z,o} = Q_S - Q_S \cdot \tau_a$)

$Q_{z,t}$ – tepelné ztráty ($Q_{z,t} = U \cdot A_K \cdot (t_a - t_v)$)

Q_K – tepelný výkon kolektoru ($Q_K = M \cdot c \cdot (t_{k2} - t_{k1})$)

4.2.1 Optické ztráty kolektoru

Vlivem reflexe na povrchu transparentního krytu a absorpce při průchodu materiálem nedosáhne část záření na níže ležící absorbér. Zatímco ztráty reflexí jsou závislé na úhlu dopadu záření (při úhlu nad 50° ztráta zřetelně stoupá, jak je vidět v obr. 4.2), jsou ztráty transmisí určovány jako transmisní součinitel τ . Například propustí-li obyčejná skleněná tabule zhruba mezi 85 až 95 % záření, potom je odpovídající koeficient $\tau = 0,85$ až $0,95$. [4]



Obr. 4.2 Vliv zasklení na optické vlastnosti kolektoru [18]

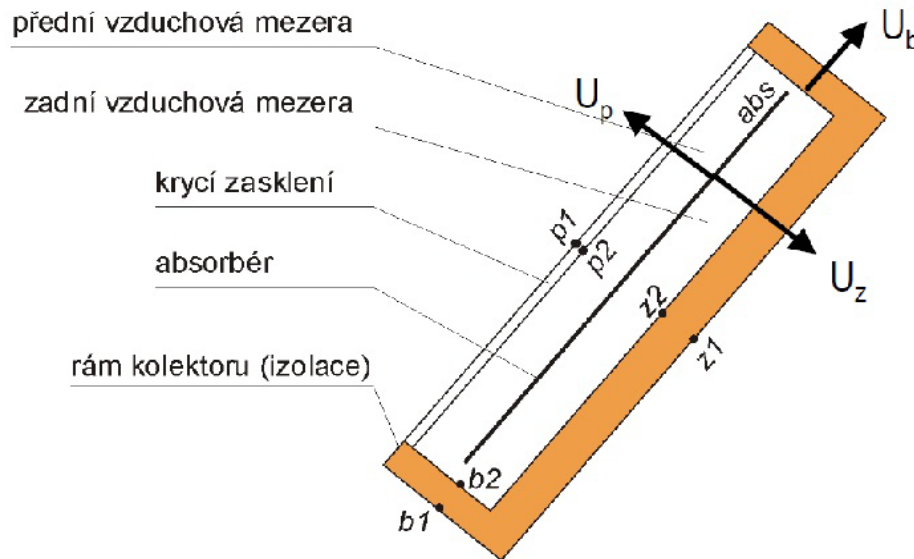
Aby bylo záření dopadající na absorbér přeměněno úplně na teplo, je požadován vysoký součinitel absorpce absorbéru, tzn. co nejlepší povrstvení α .

Optický stupeň účinnosti η_o nám říká, jaká část dopadajícího záření bude přeměněna na teplo. Je to součin transmise τ a reflexe α . [4]

$$\eta_o = \tau \cdot \alpha \quad [-]$$

4.2.2 Tepelné ztráty kolektoru

Tepelný výkon vyvinutý na absorbéru ovlivňuje zvýšení teploty absorbéru oproti teplotě okolí. Zhruba na stejnou teplotu se ohřeje i absorbérem protékající teplotonosná kapalina. Vlivem nevyhnutelných tepelných ztrát teplejších těles není na absorbéru celkový vyvinutý tepelný výkon také teplem užitečným. Je nutno odečíst tepelné ztráty kolektoru. [4] Přehled tepelných toků kolektoru je na obr. 4.3.



Obr. 4.3 Tepelné ztráty plochého kolektoru [18]

$$Q_{z,t} = U_p \cdot A_K \cdot (t_a - t_v) - U_z \cdot A_K \cdot (t_a - t_v) - U_b \cdot A_b \cdot (t_a - t_e)$$

kde: U_p – součinitel přestupu tepla přední stranou kolektoru

A_k – vztažná plocha [m^2]

t_a – střední teplota absorbéru [$^{\circ}\text{C}$]

t_v – teplota okolí [$^{\circ}\text{C}$]

U_z – součinitel přestupu tepla zadní stranou kolektoru [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

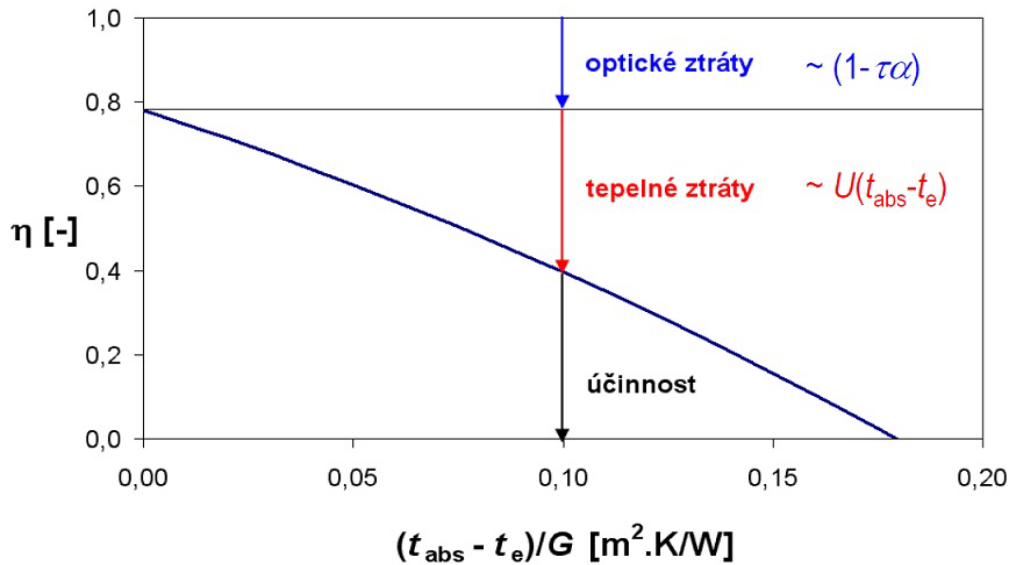
U_b – součinitel přestupu tepla boční stěnou kolektoru [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

A_b – vztažná plocha boční stěny [m^2]

$Q_{z,t}$ – tepelné ztráty

Velikost tepelných ztrát je značně závislá na konstrukci kolektoru a přirozeně na rozdílu teplot mezi absorbérem a okolím. Čím teplejší je absorbér a čím větší je rozdíl teplot mezi ním a okolím, tím větší jsou tepelné ztráty. Tuto vlastnost plně potvrzují plastové bazénové kolektory, které mají vysokou účinnost díky malému rozdílu mezi teplotou vody v bazénu a

okolí. Vztah mezi tepelnou a optickou účinností, vztaženou k ploše apertury a střední teplotě nosné látky, je na obr. 4.4.



Obr. 4.4 Vliv tepelných a optických ztrát na účinnost kolektoru [18]

4.3 Výpočet účinnosti solárního kolektoru Suntime 2.1

Stanovení účinnosti provedeme z energetické bilance kolektoru tedy podle vzorce:

$$q_a = \eta_0 \cdot I_{stř} - k_1 \cdot (t_a - t_v) - k_2 \cdot (t_a - t_v)^2 \quad [W \cdot m^{-2}]$$

kde: q_a – měrný tepelný tok [$W \cdot m^{-2}$]

η_0 – optická účinnost (pro náš kolektor $\eta_0 = 0,8$)

k_1 – lineární ztrátový součinitel (pro náš kolektor $k_1 = 2,495$)

k_2 – kvadratický ztrátový součinitel (pro náš kolektor $k_2 = 0,028$)

t_a – střední teplota absorbéru (pro náš kolektor $t_a = 45^\circ C$)

t_v – střední teplota okolí v době slunečního svitu (viz tab. 4.17)

$I_{stř}$ – dopadající tepelný tok (viz tab. 4.16)

Střední teplota vzduchu v době slunečního svitu v okrese Havlíčkův Brod viz tab. 4.17.

Střední teplota vzduchu v době slunečního svitu $t_v [^\circ C]$											
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
0,5	2,2	6,0	10,7	15,9	18,9	20,1	20,2	17,5	12,7	6,5	2,5

Tab. 4.17 Střední denní teplota vzduchu v době slunečního svitu v jednotlivých měsících

Nyní můžeme spočítat účinnost kolektorů pro jednotlivé měsíce. Účinnost kolektoru spočteme ze vztahu:

$$\eta = \frac{q_a}{I_{stř}} \quad [-]$$

Účinnosti kolektoru v jednotlivých měsících viz tab. 4.18.

Účinnost η kolektoru Suntime 2.1 v jednotlivých měsících [-]											
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
0,43	0,49	0,54	0,58	0,62	0,63	0,65	0,66	0,63	0,58	0,48	0,4

Tab. 4.18 Účinnost solárního kolektoru Suntime 2.1 v jednotlivých měsících

4.4 Návrh zásobníku TUV

Solární zařízení dosahují své plné funkce teprve v kombinaci se zásobní nádrží na teplou vodu. Tímto způsobem mohou být překlenuta krátkodobá údobí slabého slunečního záření, resp. zcela bez slunce tzn. večer, noc, ráno, deštivé dny.

Kapacita zásobníku, resp. jeho potřebný objem se volí dle denní spotřeby viz tab. 4.19.

Stanovená spotřeba	Spotřeba energie Pro ohřev vody	Denní spotřeba vody S teplotou 45 °C
Dle ČSN 060320	4,3 kWh/os. den	Cca 100 l/os
Běžná spotřeba	2,2 - 2,9 kWh/os. den	50 - 60 l/os
Úsporná domácnost	1,6 kWh/os. den	Cca 30 l/os

Tab. 4.19 Denní spotřeba teplé vody a energie pro ohřev v různých typech domácností [18]

Solární systém pracuje nejlépe, pokud je navržen pro skutečné místní podmínky. Před samotným dimenzováním je dobré si rozmyslet, zda bude ohříván bazén, zda bude požadováno přitápění, způsob napojení na klasický zdroj energie, způsob regulace atd.

Náš systém je navrhován pro dvoučlennou domácnost (dvě dospělé osoby), ale v budoucnu se počítá s rozrůstáním rodiny. Teplá voda je nyní připravována v elektrickém bojleru na teplotu 55 °C. Počítáme-li se střední spotřebou vody (45°C), vychází nám denní spotřeba 120 l teplé vody. Pro lepší představu spotřeby teplé vody viz tab. 4.20, kde jsou odběry teplé vody při různých činnostech.

Spotřeba teplé vody	Litr
mytí nádobí na osobu a den	12 - 15
mytí rukou	2 - 5
mytí hlavy	10 - 15
sprchování	30 - 60
koupelel – klasická vana	12 - 180
koupelel – velká vana	250 - 400

Tab. 4.20 Odběry teplé vody při různých činnostech v domácnosti [18]

Objem zásobníku teplé vody by se měl volit na dvoudenní spotřebu teplé vody, tzn. že budeme počítat se zásobníkem na 300 l, kdy překleneme víc zamračených dní a navíc bude horních 100 litrů zásoba pro dohřev plynem horním tepelným výměníkem, kdy už solární systém nebude schopen pokrývat spotřebu TUV. energii potřebnou pro ohřátí 300 litrů vody spočteme podle vztahu:

$$Q_{spotř} = c \cdot \rho \cdot V \cdot (t_2 - t_1) \quad [kWh]$$

kde c – je měrná tepelná kapacita vody	4200 J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹
ρ – je hustota vody při 30 °C	995,6 kg·m ⁻³
t_1 – je teplota vody vstupující do zásobníku	10 °C
t_2 – je požadovaná teplota v zásobníku	45 °C
V – je objem zásobníku	0,3 m ³

Potom tedy $Q_{spotř} = 4200 \cdot 995,6 \cdot 0,3 \cdot (45 - 10) = 43\,905\,960 \text{ J} = 12,20 \text{ kWh}$

K této energii bychom měli přičíst 10%, což jsou ztráty v solárním okruhu.

Potom tedy $Q_p = Q_{spotř} + 0,1 \cdot Q_{spotř} = 1,1 \cdot Q_{spotř} = 1,1 \cdot 12,20 = 13,40 \text{ kWh}$

4.5 Návrh počtu solárních kolektorů

Úkolem je spočítat celkovou plochu kolektorů pro ohřev vody. Období pro výpočet zvolíme podle toho, kdy budeme chtít systém provozovat, v našem případě se jedná o celoroční provoz. Pro sezónní provoz je to zpravidla červen, pro celoroční provoz je to duben, resp. září. Pokud bychom počítali s nejnepříznivějším měsícem (prosinec, leden), byla by plocha kolektorů předimenzovaná a soustava by po většinu roku produkovala přebytky tepelné energie bez možného využití. Pokud bychom kolektorovou plochu nechtěli počítat existují jednoduchá pravidla získaných ze zkušeností provozu solárních soustav.

Na základě zkušeností z desítek let provozu solárních soustav ohřevu vody pro malé soustavy se osvědčila jednoduchá pravidla:




- 1 - 1,5 m² kolektorové plochy na osobu
- 0,8 - 1,2 m² plochy kolektoru z vakuovaných trubíc na osobu

Všeobecné podmínky pro určení plochy slunečních kolektorů:

- denní potřeba tepla Q [kWh/den]
- množství globálního záření, které dopadne na vodorovnou plochu

- zeměpisná šířka
- sklon kolektoru k vodorovné rovině
- odklon roviny kolektoru od jižního směru
- čistota ovzduší
- zastínění

Přibližná velikost kolektorové plochy k objemu zásobníku bez počítání viz tab. 4.21.

Počet osob	Použití	Plocha kolektoru	Objem zásobníku	Použití	Plocha kolektoru	Objem zásobníku
 2-4	ohřev TUV	5,6 m ²	300 l	ohřev TUV a vytápění 90 m ²	14,0 m ²	800 l
 3-5	ohřev TUV	8,4 m ²	300-500 l	ohřev TUV a vytápění 120 m ²	16,8 m ²	1.000 l
 4-6	ohřev TUV	11,2 m ²	500-750 l	ohřev TUV a vytápění 150 m ²	19,6 m ²	1.500-2.000 l

Tab. 4.21 Přepočítání kolektorové plochy na velikost zásobníku [19]

Pro výpočet plochy kolektorů potřebujeme vědět, kolik energie dokážeme denně přeměnit z našich solárních kolektorů Suntime 2.1. Zjistíme to pomocí vzorce:

$$Q_a = \eta \cdot Q_{Sden} \quad [kWh \cdot m^{-2}]$$

kde: Q_{Sden} – je skutečná dopadající energie za den (viz tab. 4.14)

η – je účinnost kolektoru v jednotlivých měsících (viz tab. 4.18)

4.5.1 Tepelná energie získaná kolektory

Výsledné tepelné energie dodané plochou jednoho metru čtverečního solárního kolektoru jsou v tab. 4.22.

Tepelná energie odvedená kolektory Suntime 2.1 Q_a [kWh·m ⁻²]											
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
0,5	1,0	1,9	3,0	3,2	3,3	3,3	3,2	2,4	1,5	0,6	0,5

Tab. 4.22 Výsledná denní tepelná energie odvedená kolektory

Při našem návrhu počítáme s celoročním využitím solární soustavy. V měsících, kdy nám solární systém již nepokryje spotřebu, je předpoklad, že se v té době bude topit plynovým kotlem spolu s ohřevem TUV. Z intervalu měsíců duben až září vybereme ten méně příznivý, aby byl náš systém schopen pokrýt celé zvolené období a předehřev vody by byl možný i v ostatních měsících.

Jako výpočtový měsíc pro zvolenou plochu kolektoru zvolíme měsíc září, tedy:

$$S_k = \frac{Q_p}{Q_a} = \frac{13,4}{2,4} = 5,6 \text{ m}^2$$

kde: Q_a – je tepelná energie dodaná kolektory v jednotlivých měsících

Q_p – je potřebná energie pro ohřátí 300 litrů vody

Použitý solární kolektor má absorpční plochu $1,83 \text{ m}^2$, takže po vydělení s nutnou plochou kolektoru dostáváme požadovaný počet kolektorů:

$$p = \frac{S_k}{A_a} = \frac{5,6}{1,83} = 3$$

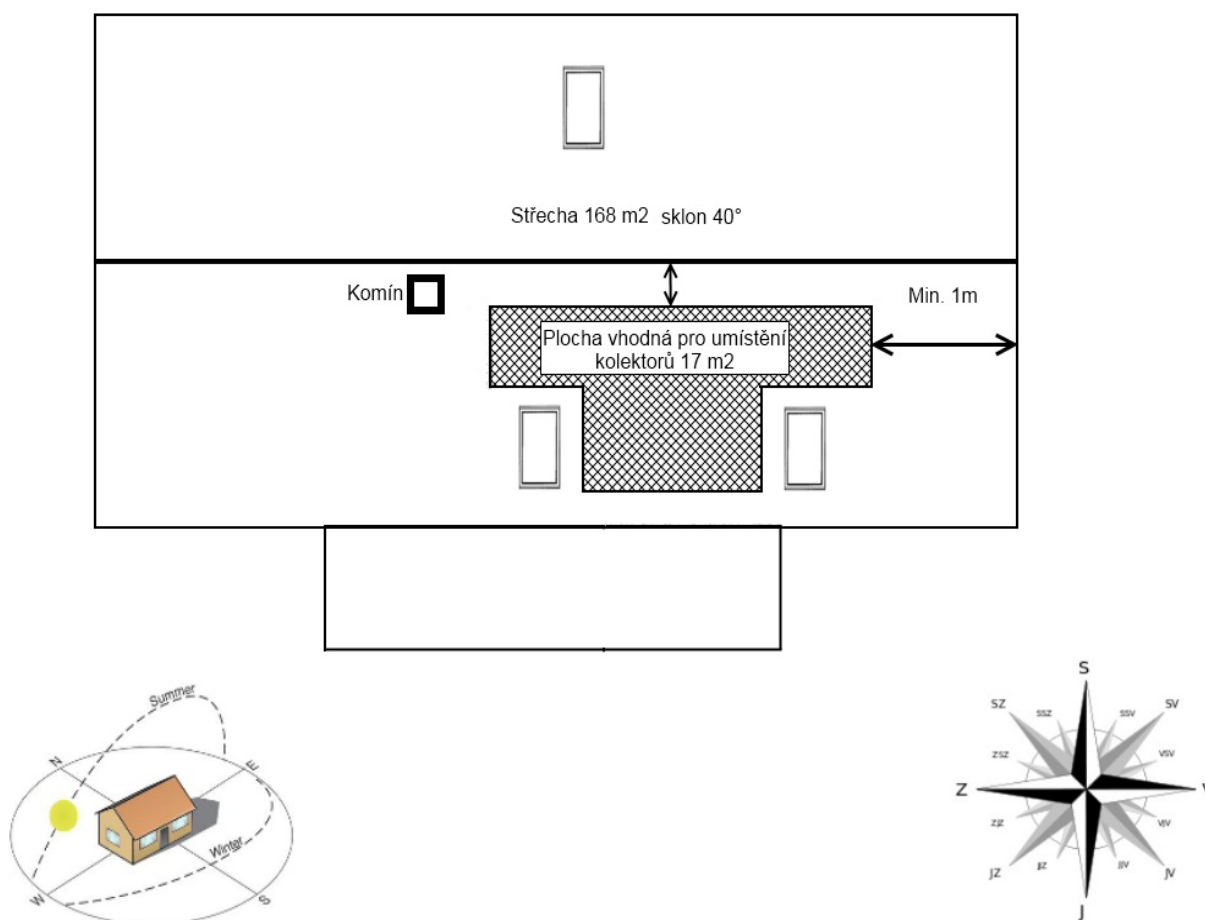
kde: S_k – je plocha nutná k ohřevu 300 litrů

A_a – absorpční plocha našeho kolektoru

p – počet kolektorů

Pro náš systém tedy zvolíme 3 kolektory Suntime 2.1 o celkové ploše apertury $5,52 \text{ m}^2$.

Kolektory budou umístěny na střeše objektu pod úhlem 40° , plocha vhodná pro umístění kolektorů je 17 m^2 a je vyšrafována na obr. 4.5.



Obr. 4.5 Schéma střechy rodinného domu s vyznačenou plochou vhodnou pro umístění solárního systému

4.6 Určení tepelné bilance systému pro ohřev TUV

Díky tepelné bilanci, viz tab. 4.23, získáme lepší přehled o tom, jaké bude mít náš solární systém pokrytí během roku (solární pokrytí je vidět přehledně v grafu 4.2.), a naopak kolik energie budeme nuceni dodat pro ohřev vody. Druhý zdroj ohřevu vody je naddimenzován na plné pokrytí dodávky vody, tudíž při oblačných dnech nehrozí nedostatek teplé vody.

Tepelná energie dodaná solárním systémem za měsíc je:

$$Q_{am\ \text{měsíc}} = Q_a \cdot 5,5 \cdot n \quad [kWh]$$

kde: n – je počet dní v měsíci

Q_a – je tepelná energie dodaná kolektory

Měsíc	Potřeba tepla Q_p [kWh]	Solární zisk Q_a [kWh]	Využitelný zisk [kWh]	Podíl [%]
Leden	415	85	85	20
Únor	375	154	154	24
Březen	415	324	324	78
Duben	402	495	402	100
Květen	415	546	415	100
Červen	402	545	402	100
Červenec	415	553	415	100
Srpen	415	546	415	100
Září	402	396	396	97
Říjen	415	102	102	24
Listopad	402	99	99	23
Prosinec	415	85	85	20
Celkem	4888	3930	3930	64

Tab. 4.23 Tepelná bilance navrženého solárního systému (množství potřebné energie a dodané solárním systémem)

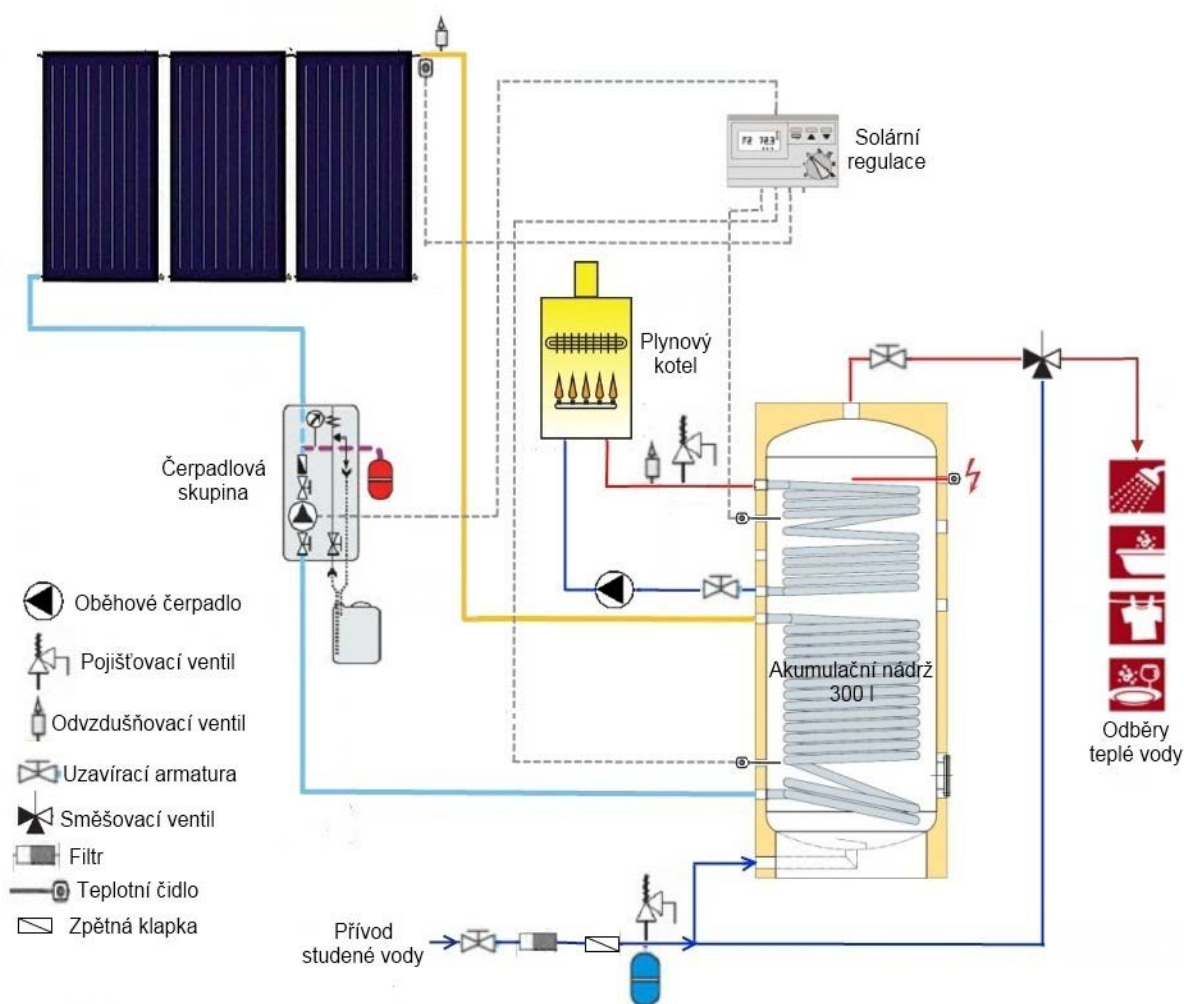


Graf 4.2 Tepelná bilance solárního systému

5 Volba komponent pro navrhovaný ohřev TUV

Výběr komponent pro solární systém je velmi důležitá část celé realizace. Špatně navržené komponenty často znamenají zhoršení účinnosti celé soustavy a také prodloužení doby návratnosti. Komponenty pro realizaci solárního ohřevu TUV jsem vybíral podle aktuálních ceníků výrobců s deklarovanou životností a účinností. Nejdříve byli osloveni čeští výrobci solární techniky a až poté jsem poptával zahraniční výrobce. Komponenty byly pečlivě voleny podle jejich funkce a celkového zařazení do soustavy.

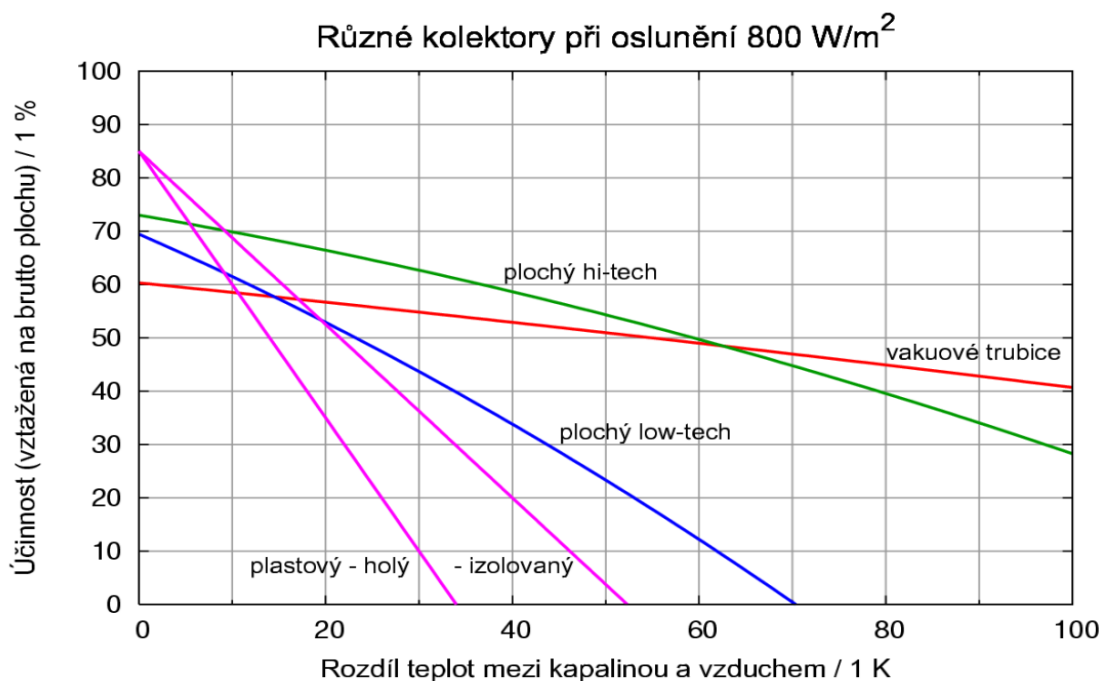
5.1 Schéma navrhovaného solárního systému



Obr. 5.1 Schéma navrženého solárního systému se třemi kolektory Suntime 2.1, čerpadlovou skupinou FV 70 Tacosol a solárním zásobníkem OKC 300 NTRR/SOL

5.2 Volba solárního kolektoru

Solární kolektor je nejdůležitějším prvkem celé sestavy. Na jeho volbě závisí účinnost přeměny slunečního záření na teplo. Sebedražší akumulční nádrž se špatně zvoleným kolektorem nebude správně fungovat, tedy pokud bude účinnost kolektoru nízká pak bude nádrž předimenzovaná a často se bude dohřívat sekundárním ohřevem. Na trhu je dnes nepřehledné množství kolektorů, které tak znesnadňuje volbu. Při volbě kolektoru si musíme položit základní otázku, co od kolektoru očekáváme a v jakém ročním období chceme ohřívat vodu. Každý kolektor se bude chovat jinak v létě a jinak v zimě. Pro lepší představu viz obr. 5.2.



Obr. 5.2 Typické křivky účinnost různých druhů solárních kolektorů vyjádřené v závislosti na teplotním spádu mezi teplonosnou látkou a okolím pro hodnotu slunečního záření 800 W/m^2 [21]

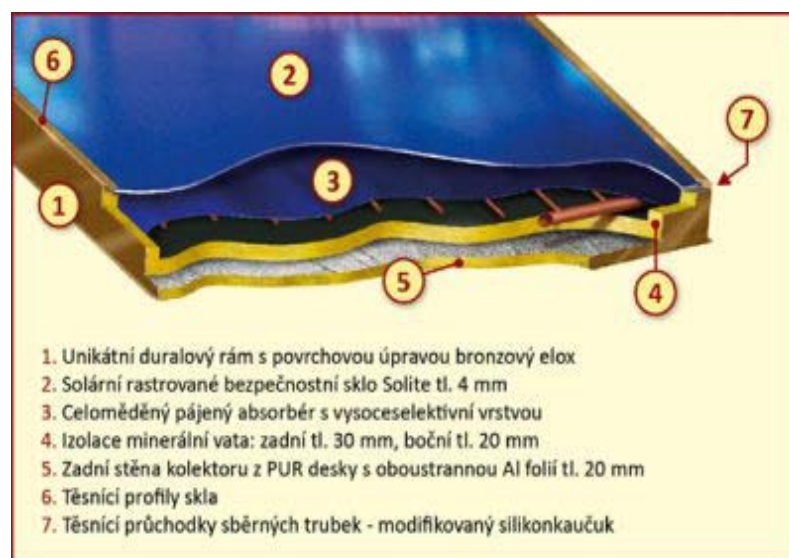
Základní dělení kolektorů se dá zjednodušit na ploché a vakuové. U plochého kolektoru si je třeba ohlídat hlavně provedení izolace rámu a zvolenou selektivní vrstvu absorbéru, jež udává kolektoru účinnost a říká, kolik je kolektor schopen zachytit záření a kolik záření odrazí. U vakuových kolektorů si je třeba dát pozor na jejich původ a schopnost plnit deklarované parametry. Je nutno se zaměřit i na servis a prodej náhradních trubíc, které se u Heat – pipe systému dají lehce měnit i bez nutnosti vypouštění solární kapaliny. Důležité je také správné umístění vakuových trubíc, kdy není vhodné je dávat příliš blízko ke střešní

krytině. V zimě může docházet k jejich zapadání sněhem, proto je lepší nechat od střešní krytiny malou mezeru anebo je umístit na zem před dům, kde se mohou ometat.

Po prokonzultování situace s majitelem navrhovaného systému byly již dále porovnávány pouze ploché kolektory. Přednost plochým kolektorům byla dána kvůli zaměření soustavy pro ohřev TUV a také kvůli ceně. Vznikla rovněž byla obava z vysokých stagnačních teplot při neodebírání tepla z vakuových kolektorů v létě.

5.2.1 Solární kolektor Suntime 2.1

Pro navrhovaný systém solárního ohřevu vody jsem zvolil ploché kolektory od společnosti Propuls Solar s.r.o. Jedná se o českého výrobce solárních kolektorů, který je registrován v programu Zelená úsporám, použitím kolektorů Suntime vzniká tedy nárok na státní dotaci. Kolektory byly vybrány jednak na základě ceny a dále dle deklarované účinnosti. Kolektory mají celoměděný absorbér opatřený vysoce selektivním povrchem ETA+, který má absorptivitu $\alpha = 96\%$ a emisivitu $\eta = 4\%$. Konstrukce rámu je optimalizovaná tak, aby mohl sníh sjet bezpečně z aktivní plochy. Kolektor je dále zasklen speciálním solárním bezpečnostním sklem GMB Solarglas CONE o tloušťce 4 mm. Sklo je zakalené a bezželezité, což zaručuje maximální prostup solárního spektra na povrch absorbéru. Izolace rámu je provedena minerální izolací ISOVER Ultimate. Rám kolektoru je vyroben z hliníkových eloxovaných profilů a k napojení do solárního okruhu slouží měděné šroubení s převlečnou maticí o průměru 22 mm. [13] Řez kolektorem Suntime 2.1 je na obr. 5.3 a technická data ke kolektoru jsou v tab. 5.1.



Obr. 5.3 Řez solárním kolektorem Suntime 2.1 [13]

Suntime 2.1	
Plocha apertury	1,84 m ²
Absorpční plocha	1,83 m ²
Vnější rozměry	1895 mm x 1063 mm
Krycí sklo	solární 4 mm, bezpečnostní
Tepelná izolace	minerální vata 30 mm + PUR 20 mm
Objem teplotnosné kapaliny	1,1 l
Hmotnost	38 kg
Povrch absorberu	vysoceselektivní vrstva ETA+
Solární absorptivita	96 % ± 2 %
Emisivita při 100 °C	4 % ± 2 %
Maximální přetlak teplotnosné kapaliny	6 bar
Testovací tlak	10 bar
Doporučený průtok	40 - 120 l/h
Rám kolektoru	eloxovaný hliníkový profil
Energetický zisk	800 - 1300 kWh/rok
Optická účinnost (pro plochu apertury)	0,8
Lineární ztrátový součinitel (pro plochu apertury)	2,395 W·m ⁻² ·K ⁻¹
Kvadratický ztrátový součinitel (pro plochu apertury)	0,018 W·m ⁻² ·K ⁻¹

Tab. 5.1 Technický list kolektoru Suntime 2.1 [13]

5.2.2 Srovnání solárního kolektoru Suntime 2.1 s kolektorem Regulus KPH1

Pro srovnání solárních kolektorů jsem použil on-line výpočtový program společnosti Propuls [13], kde se do přednastavené tabulky viz tab. 5.2 vloží tyto informace: optická účinnost, lineární ztrátový součinitel a kvadratický ztrátový součinitel. Ostatní součinitele v tabulce 5.3 jsou: $G_{T, stř}$ je střední denní sluneční ozáření uvažované plochy kolektoru (sklon, orientace) data jsou zadána pro Prahu, sklon 45°, orientace na jih, dále t_a je průměrná teplota teplotnosné látky v kolektoru v průběhu dne v závislosti na aplikaci (zadaná hodnota 40°C, která přibližně odpovídá ohřevu TV). Dále potom t_v je průměrná venkovní teplota v době slunečního svitu (zadána data pro Prahu).

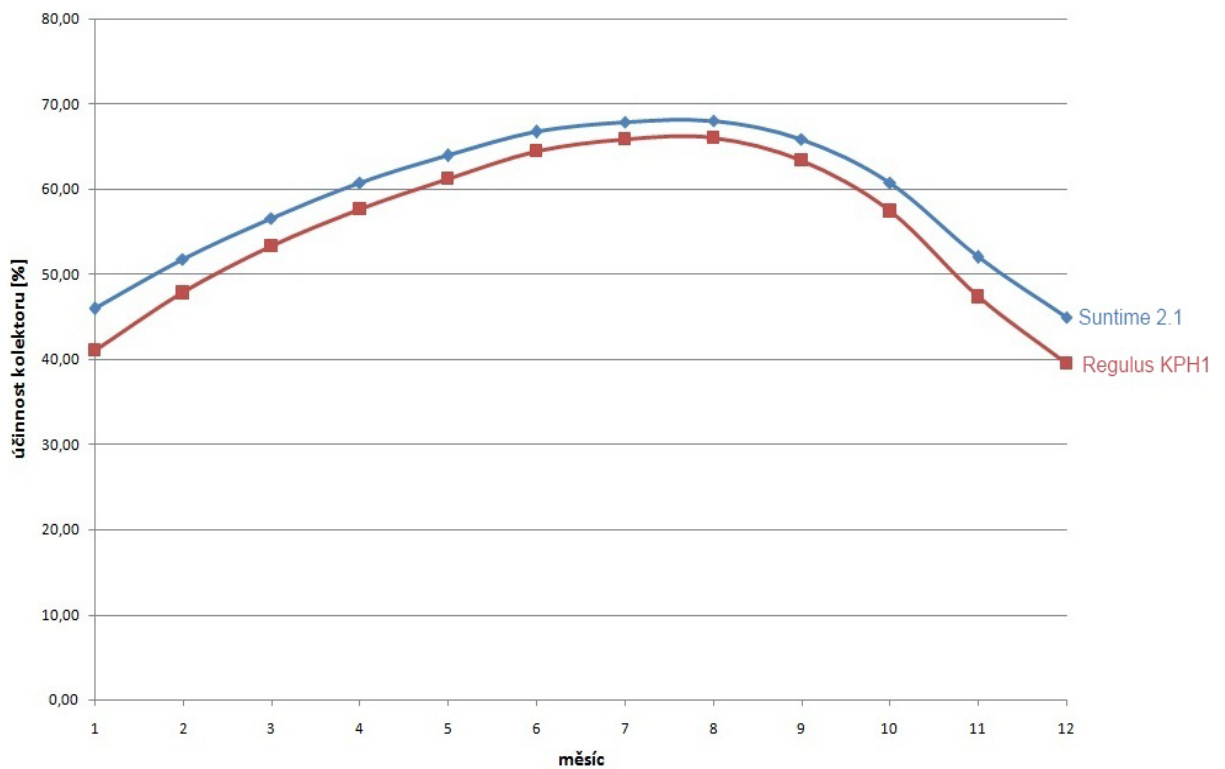
Pro porovnání jsem vybral kolektor od společnosti Regulus KPH1 [24], který je ve stejné cenové hladině a má stejné parametry (má stejnou absorpční plochu a stejnou optickou účinnost). Oba kolektory jsou ploché, opatřené selektivní vrstvou. Průběh účinnosti v jednotlivých měsících můžeme vidět v grafu 5.1.

Porovnání solárních kolektorů Suntime 2.1 a Regulus KPH1			
Koeficienty pro plochu apertury	Optická účinnost $\eta_0[-]$	Lineární ztrátový součinitel [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Kvadratický ztrátový součinitel [W·m ⁻² ·K ⁻¹]
Suntime 2.1	0,8	2,395	0,018
Regulus KPH1	0,8	3,968	0,009

Tab. 5.2 Parametry porovnávaných solárních kolektorů

Měsíc	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
Střední hodnota slunečního záření $G_{T,slf}$ [W/m ²]	418	489	535	527	521	517	512	515	516	488	427	387
Průměrná teplota v solárních kolektorech t_a [°C]	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Průměrná venkovní teplota v době slunečního svitu t_i [°C]	2,2	3,4	6,5	12,1	16,6	20,6	22,5	22,6	19,4	13,8	7,3	3,5
Účinnost kol. Suntime 2.1	45,97	51,76	56,60	60,76	63,95	66,70	67,90	68,02	65,84	60,77	51,98	44,93
Účinnost kol. Regulus KPH1	41,04	47,84	53,27	57,66	61,23	64,46	65,90	66,06	63,42	57,43	47,36	39,48

Tab. 5.3 Účinnost porovnávaných kolektorů v jednotlivých měsících

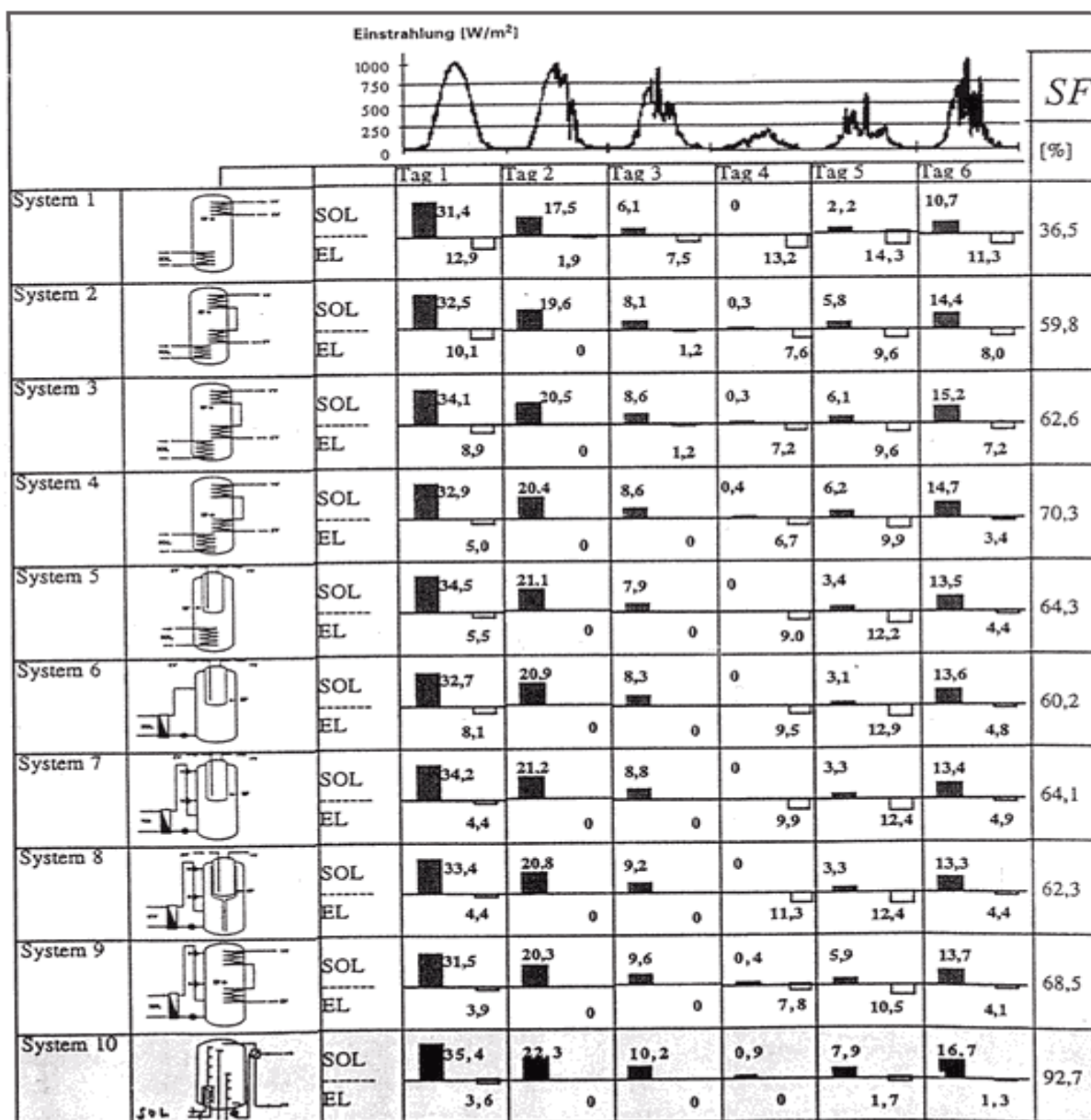


Graf 5.1 Průběh křivky účinnosti solárního kolektoru Suntime 2.1 s kolektorem Regulus KPH1

Z dosažených výsledků porovnání účinnosti solárního kolektoru Suntime 2.1 s kolektorem Regulus KPH1, je patrná vyšší účinnost kolektoru Suntime 2.1 a to zejména v zimních měsících, kdy není dostatek slunečního záření. Naopak v letních měsících kdy je slunečního záření dostatek, je účinnost porovnávaných kolektorů téměř totožná viz. graf 5.1.

5.3 Volba solárního zásobníku

Dobrý solární kolektor nedělá sám o sobě ještě dobrou solární soustavu. Na trhu je v současné době mnoho výrobců a dodavatelů zásobníků určených pro solární ohřev vody. Existuje mnoho typů podle požadavku soustavy. Pro lepší přehled a představu jsou možnosti zásobníků vyobrazeny v tab. 5.4.



Tab. 5.4 Schémata deseti nejběžněji užívaných zásobníků v solární technice. Zásobníky jsou seřazeny podle schopnosti solárního pokrytí SF. SOL znamená schopnost solárního nabíjení a EL je potřeba dodatečné energie k ohřevu. Nejlepší solární pokrytí má Systém 10, což je stratifikační zásobník [4].

Solární zásobníky se dělí např. podle počtu tepelných výměníků. Od tohoto počtu se odvíjí možnost připojit větší či menší počet zdrojů ohřevu vody. Tyto zásobníky se potom nazývají monovalentní (s jedním tepelným zásobníkem), bivalentní (se dvěma tepelnými

zásobníky) až trivalentní, kdy je možno připojit do jedné nádrže 3 zdroje ohřevu teplé vody. Pro základní návrh ohřevu TUV bychom teoreticky vystačili s jedním tepelným výměníkem, ale protože je počasí nevyzpytatelné a i v létě se může objevit více zamračených dnů, je nutné tyto zásobníky vybavit minimálně topnou patronou v horní části. Tato patrona nám ohřeje horní část nádrže, kde se nachází odběr teplé vody a kde budeme mít pohotovostní zásobu teplé vody. Náš systém ovšem bude ještě sofistikovanější, poněvadž rodinný dům je vybaven plynovým kotlem pro vytápění, který obsahuje přípojovací sadu pro zásobník teplé vody s možností regulace a nahřívání přímo do solárního zásobníku.

Důraz byl kladen na to, aby byl tepelný výměník pro napojení solárního systému umístěn co nejnižší v zásobníku a aby disponoval co největší teplosměnnou plochou. To je fakt, který projektanti dost často opomíjejí. Další často opomíjenou výhodou je, aby zásobník měl také tzv. „stínící“ plech na vstupu studené vody do zásobníku, který způsobí, že studená voda přitékající do zásobníku nerozmíchá teplotní vrstvy, které se utvořily v nádobě.

Další podmínka byla izolace provedená smaltem. Majitel nemovitosti již vlastní smaltovaný bojler od společnosti Dražice a je s izolací maximálně spokojen. Existují sice i nerezové zásobníky na teplou vodu, ale cena je tak vysoká, že se pro rychlý návrat investice nevyplácí.

Rodinný dům je obýván dvěma dospělými osobami (počítá se s rozrůstáním rodiny), tudíž dle výpočtu spotřeby teplé vody vycházel objem zásobníku na 200 l. Protože je ale zásobník vybaven v horní části tepelným výměníkem od plynového kotle, doporučuje se k velikosti nádrže přičíst 100 litrů. Je to dáno tím, že hornímu výměníku bude náležet přidaných 100 litrů, tudíž nebude tepelný výměník od plynového kotle zvyšovat teplotu vody v dolní části nádrže. Pro co největší účinnost solárního systému je důležité, aby spodní část zásobníku měla co nejnižší teplotu a předávání tepla tak probíhalo rychleji, tzn. aby tepelný spád byl co největší. Větší nádrž rovněž umožní překlenout více zamračených dnů.

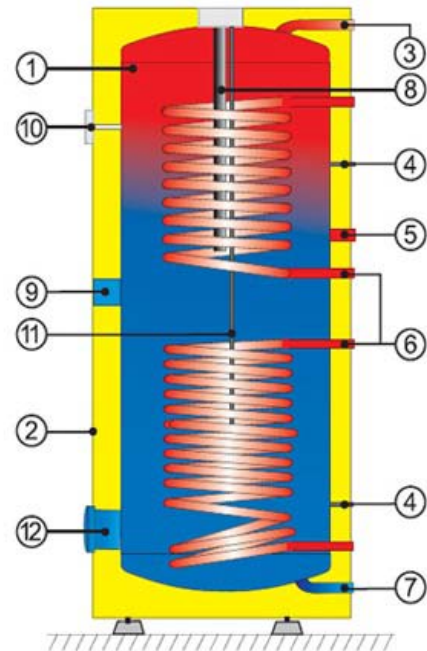
Z výše uvedeného vyplývá, že je potřeba 300 litrový zásobník se dvěma tepelnými výměníky. Dále je potřeba vybavit solární zásobník elektrickou patronou pro přípravu teplé vody během zamračených dní. Z těchto kritérií zvolíme solární zásobník.

5.3.1 Zásobník teplé vody Dražice OKC 300 NTRR/SOL

Pro návrh ohřevu teplé vody jsem zvolil zásobník od společnosti Dražice. Zásobník byl zvolen z důvodů, že majitel má dobré zkušenosti se zásobníky od společnosti Dražice. Jedná se o českou společnost s dlouholetou tradicí výroby zásobníku a ohřívачů pro teplou vodu. Z porovnávaných zásobníků se dvěma tepelnými výměníky a objemem 300 litrů vychází Dražice nejvýhodněji.

Nádoba zásobníku je svařena z ocelového plechu a jako celek je posmaltována smaltem odolávajícím teplé vodě. Jako dodatečná ochrana proti korozi je v horní části ohřívачe vmontována hořčíková anoda, která upravuje elektrický potenciál vnitřku nádoby a snižuje tak nebezpečí jejího prorezavění. Tato anoda se může nahradit za anodu titanovou, která je napájena elektrickou energií a tím se nemusí po dvou letech měnit. Zásobník dále obsahuje přivařené vývody teplé vody, studené vody, cirkulační otvor a jímky pro čidla. Izolace nádoby je provedena polyuretanovou bezfreonovou pěnou o tloušťce 50 mm. Zásobník stojí na rektifikačních šroubech s možností vyrovnání nerovností podlahy v rozmezí 10 mm. Pro detailnější popis viz obr. 5.4, a technická data jsou v tab. 5.5. [14]

- 1 Ocelová smaltovaná nádoba
- 2 Plášť ohřívачe
- 3 Výstup TUV
- 4 Jímka snímače teploty
- 5 Cirkulace
- 6 Trubkový výměník
- 7 Vstup studené vody
- 8 Hořčíková anoda
- 9 Otvor pro přídavné topné těleso - max. 6 kW
- 10 Teploměr
- 11 Svislá jímka pro čidlo snímače teploty
- jen u objemů 200 a 250 l
- 12 Čisticí a revizní otvor - jen u objemů 300 l



Obr. 5.4 Řez solárním zásobníkem OKC 300 NTRR/SOL [14]

OKC 300 NTRR/SOL	
Objem zásobníku	275 l
Průměr ohřivače	597 mm
Výška ohřivače	1790 mm
Hmotnost	125 kg
Provozní tlak TUV	1 MPa
Provozní tlak topné vody	1 MPa
Max. teplota topné vody	110 °C
Max. teplota TUV	95 °C
Výhřevná plocha spodního výměníku	1,5 m ²
Výhřevná plocha horního výměníku	1 m ²
Objem spodního výměníku	10,5 l
Objem horního výměníku	7 l
Výkon spodního/horního výměníku při tepelném spádu 80/60 °C	35/24 kW
Trvalý výkon TUV spodního/horního výměníku	1100/670 l/h
Doba ohřevu TUV výměníkem při tepelném Spádu 80/60 °C (spodním/horním)	24/16 min
Výkon spodního/horního výměníku při tepelném Spádu 60/50 °C	21/13 kW
Trvalý výkon TUV spodního/horního výměníku	517/330 l/h
Doba ohřevu TUV výměníkem při tepelném spádu 60/50 °C (spodním/horním)	35/19 min
Tepelné ztráty	1,9 kWh/24 h

Tab. 5.5 Technický list solárního zásobníku OKC 300 NTRR/SOL [14]

5.4 Volba solární čerpadlové skupiny

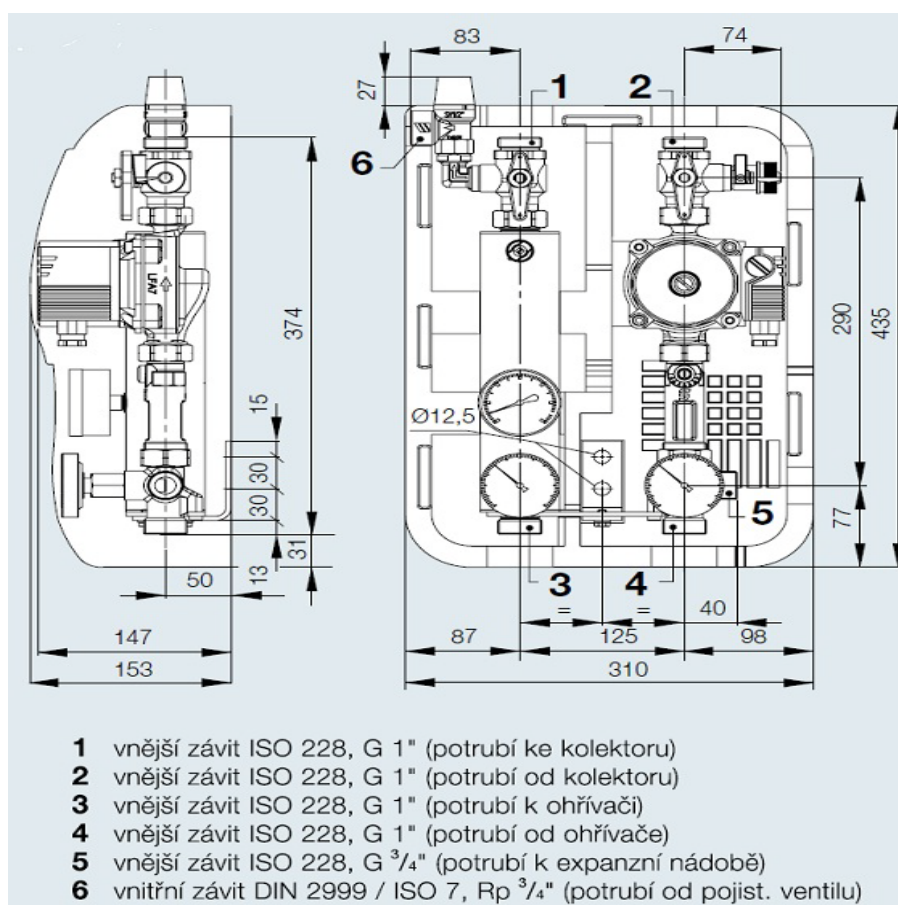
Čerpadlová skupina zastává v solárním systému důležitou úlohu. Jednak je to funkce zabezpečovací a dále je to funkce čerpání ohřáté solární kapaliny do zásobníku. Jejich parametry se volí s ohledem na velikost solární soustavy a její využití. Nespornou výhodou je zkrácená doba pro montáž a osazení všech důležitých armatur výrobcem.

Po zralé úvaze byly vybrány čerpací stanice od společnosti Taconova, jedná se o Švýcarského výrobce pojišťovacích armatur v topenářské a solární technice s bohatou zkušeností. Společnost má dobré reference zákazníků a byla doporučena výrobcem kolektorů Suntime. Pro oba solární návrhy jsem vybral dvoustoupačkovou skupinu, která je více odolná vůči vysokým teplotám v době stagnace kolektorů. Navíc jako jedna z mála na trhu obsahuje již samoodvzdušňovací armaturu.

5.4.1 Solární čerpadlová skupina FV 70 Tacosol ZR

Levá strana solární čerpadlové skupiny je určena pro teplou přívodní větev solárního okruhu od kolektoru k zásobníku. Obsahuje pojišťovací ventil s otvíracím tlakem 6 barů, zpětnou pružinovou klapku s nízkým otvíracím odporem, kulový uzavírací ventil, vertikální trubkový odvzdušňovač, tlakoměr v rozsahu 0 - 10 barů, přesný jímkový teploměr o rozsahu

0 - 170°C. Pravá strana je určena pro studenou vratnou větev solárního okruhu od zásobníku ke kolektorům. Obsahuje uzavírací kulový kohout s napouštěcí/vypouštěcí funkcí pro solární okruh, zpětnou pružinovou klapku, oběhové čerpadlo, průtokový regulační ventil, napojení na expanzní nádobu, přesný jímkový teploměr o rozsahu 0 – 170°C. Teplotní odolnost u teplé větve je až do +170°C, u studené větve až do +110°C, maximální přípustný tlak 8 barů. Součástí čerpadlové skupiny je i upevňovací konzole a materiál pro zavěšení na zeď. Celé zařízení je uloženo v kvalitní dvoudílné tepelné izolaci se snímatelnou přední částí. [17] Technická data jsou v tab. 5.6.



Obr. 5.5 Řez solární čerpadlovou skupinou FV 70 Tacosol ZR [17]

FV 70 Tacosol ZR	
Max. provozní teplota	Prívodní větev 170°C
	Zpětná větev 110°C
Max. provozní tlak	8 bar
Přepouštěcí tlak pojistného ventilu	6 bar
Součástky těles ventilů	Mosaz
Plochá těsnění	Materiály s vysokou tepelnou odolností
Izolační pouzdro	Pěnový PP
Přesnost měření průtoku ventilu Setter Inline	± 10%

Tab. 5.6 Technická data čerpadlové skupiny FV 70 Tacosol ZR [17]

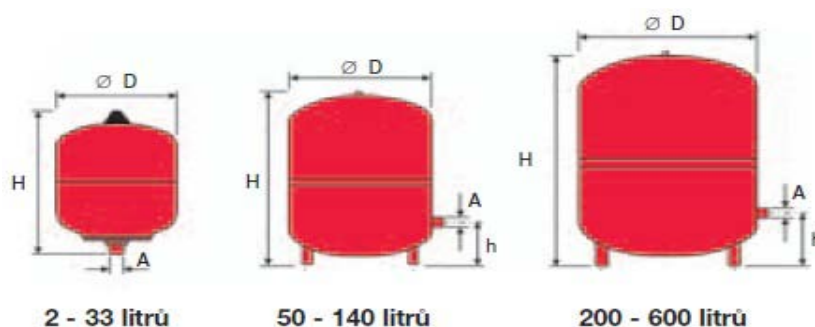
5.5 Volba expanzní nádoby

Membránové expanzní nádoby vyrovnávají tlakové změny podmíněné teplotou teplotonosné kapaliny a udržují tak tlak v kolektorovém okruhu konstantní. Membrány musí být odolné vůči glykolu. Vzhledem k tomu, že investor solární soustavy má již v provozu dvě expanzní nádoby od společnosti Reflex a ty se v praxi osvědčily, byla vybrána expanzní nádoba od společnosti Reflex.

Velikost expanzní nádoby jsem provedl výpočtem s ohledem na tlakové poměry v soustavě. Podle výpočtu mi vyšla expanzní nádoba na 33 litrů.

5.5.1 Expanzní nádoba Reflex S 33

Expanzní nádoby Reflex řady S viz obr. 5.2 jsou nádoby speciálně určené pro solární soustavy s vysokým obsahem nemrznoucí směsi. Může být použita i pro topné a chladicí soustavy. K dispozici jsou v červené a bílé barvě, s rozsahem objemu 2 - 600 litrů. [15] Podrobnější technický popis a montážní rozměry jsou v tab. 5.7.



Obr. 5.2 Řada S expanzních automatů Reflex s montážními rozměry [15]

Reflex S 33	
Nejvyšší teplota expanzní nádoby	120 °C
Nejvyšší teplota vody v expanzní nádobě	70 °C
Přetlak plynu	1,5 bar
Max. koncentrace nemrznoucí směsi	50 %
Připojení nádoby k okruhu	závitové G $\frac{3}{4}$
Celkový objem	33 l
Průměr nádoby D	354 mm
Výška nádoby H	450 mm
Montážní uchycení	upevňovací úchyty na zeď
Barva	bílá/červená
Hmotnost (prázdňá)	6,3 kg

Tab. 5.7 Technický list expanzní nádoby Reflex S 33 [15]

5.6 Volba solární regulace

S nárůstem počtu instalovaných solárních zařízení se na trhu objevují různé regulační systémy pro jejich řízení. Liší se cenou, kvalitou, spolehlivostí a obslužným komfortem. Existují tři nejvyužívanější aplikace, ve kterých se solární systémy instalují. Jedná se o systémy pro ohřev teplé užitkové vody (TUV), systémy pro ohřevy bazénů a systémy pro přitápění nebo jejich vzájemné kombinace.

Pro náš solární systém se počítá jen s ohřevem vody bez možnosti přitápění a bez možnosti ohřevu bazénu. Pro tento systém postačuje diferenciální regulace, která na základě rozdílu teplot mezi kolektorem a zásobníkem spíná oběhové čerpadlo. Tato regulace by měla také zvládat stagnaci kolektoru, tzv. „prázdninový provoz“, kdy není odebíráno teplo ze zásobníku teplé vody. Jeho teplota je na maximální dosažitelné teplotě a oběhové čerpadlo není v provozu. Podle schématu solárního systému (viz obr. 5.1) jsem vybral regulaci se třemi vstupy a jedním výstupem pro oběhové čerpadlo, které bude mít „přátelské“ uživatelské rozhraní s grafickým displejem a bude cenově přijatelné.

5.6.1 Solární regulátor Steca TR 0301

Jedná se o mikroprocesorem řízenou solární regulaci určenou pro solární systémy s jedním kolektorovým polem. Obsahuje tři vstupy pro odporová čidla PT 1000 a jeden výstup pro oběhové čerpadlo. Výhodou je přehledný displej, piktografické zobrazení systému, spuštění jednotlivých funkcí pro ochranu a lepší běh solárního systému. Technické parametry solárního regulátoru jsou v tab. 5.8.

Vedle řízení solárního zařízení přebírá regulátor také důležité hlídací a bezpečnostní funkce. Parametry zařízení a měřené hodnoty je možno sledovat na podsvětleném grafickém displeji a měnit je. Provozní bezpečnost zařízení je zajištěna propracovanou diagnózou závad. Vícebarevný a podsvětlený LCD-displej zaručuje rychlé a spolehlivé nalezení chyb a pomáhá při jejich rychlém odstranění. Další funkce regulátoru TR 0301 jsou: omezení teploty zásobníku, trubkové funkce kolektoru, ochrana proti zamrznutí, funkce pro čas dovolených, popř. funkce zpětného ochlazení. [16]

Steca TR 0301	
Pracovní napětí	230 V ($\pm 15\%$), 50 Hz
Spotřeba	0,5 W
Vstupy	3x odporové čidlo PT 1000
Výstup	Beznapěťové relé (funkce zapnuto nebo vypnuto), do 80 W
Displej	Animovaný LCD displej s podsvícením – červené a žluté
Stupeň krytí	IP 20
Pracovní teplota	0 - 40 °C
Hmotnost	250 g
Rozměry	136 x 133 x 37 mm

Tab. 5.8 Technické parametry solární regulace Steca TR 0301 [16]

6 Zhodnocení navrhovaného solárního systému

6.1 Ekonomické zhodnocení

Základem hodnocení solárních systémů jsou jejich pořizovací náklady a uvedení do provozu spojené s instalací systému, které jsou uvedeny v tab. 6.1.

6.1.1 Investiční náklady

Z tabulky 6.1 je patrné, že největší investiční náklady tvoří kolektory, které tvoří celou třetinu výsledné ceny. Jako druhou investičně náročnou komponentou je solární zásobník spolu s čerpadlovou skupinou.

Položka	Množství	Cena za jednotku	Celkem bez DPH
Kolektor Suntime 2.1 – bronz – napojení do stran	3	11 490 Kč	34 470 Kč
Kotvící sada-3 kolektory Suntime 2.1 krytina plech	1	4000 Kč	4000 Kč
Čerpadlová skupina FV 70 Tacosol ZR	1	9 195 Kč	9 195 Kč
Expanzní nádoba reflex S 33	1	1887 Kč	1887 Kč
Zásobník teplé vody OKC 300 NTRR/SOL	1	11 127 Kč	11 127 Kč
Solární regulace Steca TR0301	1	2 113 Kč	2 113 Kč
Nemrznoucí kapalina Solaren 10l	3	780 Kč	2 340 Kč
Prostupová manžeta pro solární potrubí-krytina plech	1	268 Kč	268 Kč
Propojovací sada pro 3 kolektory Suntime 2.1	1	1 240 Kč	1 240 Kč
Kříž s jímkou na čidlo a odvětrávacím ventilem	1	590 Kč	590 Kč
Izolace potrubí Kaiflex EPDM	15m	80 Kč	1 200 Kč
Izolace potrubí Aeroflex	4m	120 Kč	480 Kč
Termostatický směšovací ventil	1	1 300 Kč	1 300 Kč
Měděné potrubí DN 16	14m	112 Kč	1 568 Kč
Celkem materiál bez DPH			71 778 Kč
Montáž technologie solární soustavy			5 800 Kč
Uvedení do provozu a programování regulace			1 250 Kč
Práce celkem			7 050 Kč

Základ daně		78 828 Kč
DPH	15%	10 279 Kč
Cena celkem		89 107 Kč

Tab. 6.1 Investiční náklady solárního systému

Konečné investiční náklady po započítání dotačních prostředků z programu Zelená úsporám tab. 6.2.

Investiční náklady bez započítání dotace z programu Zelená úsporám	89 107 Kč
Finanční prostředky získané z dotačního zdroje programu Zelená úsporám	55 000 Kč
Investiční náklady po započítání dotace z programu Zelená úsporám	34 107 Kč

Tab. 6.2 Investiční náklady po započítání dotace z programu Zelená úsporám

Pro dotaci jsou požadované hodnoty solárních zisků ze solární soustavy uvedeny v tab. 6.3.

Roční reálný energetický zisk ze solární soustavy:	Požadavek	Výsledek	Vyhodnocení
- na m ² plochy apertury solárního kolektoru [kWh/m ² /rok]	280	650	Vyhovuje
- celkový na rodinný dům [kWh/rok]	1 430	3 930	Vyhovuje

Tab. 6.3 Požadované hodnoty energetických zisků solární soustavy pro udělení dotace [21]

Popis dotačního programu Zelená úsporám

Program Zelená úsporám je zaměřen na podporu instalací zdrojů na vytápění s využitím obnovitelných zdrojů energie a investic do energetických úspor při rekonstrukcích i novostavbách. Česká republika získala pro tento program finanční prostředky prodejem tzv. emisních kreditů Kjótského protokolu o snižování emisí skleníkových plynů.

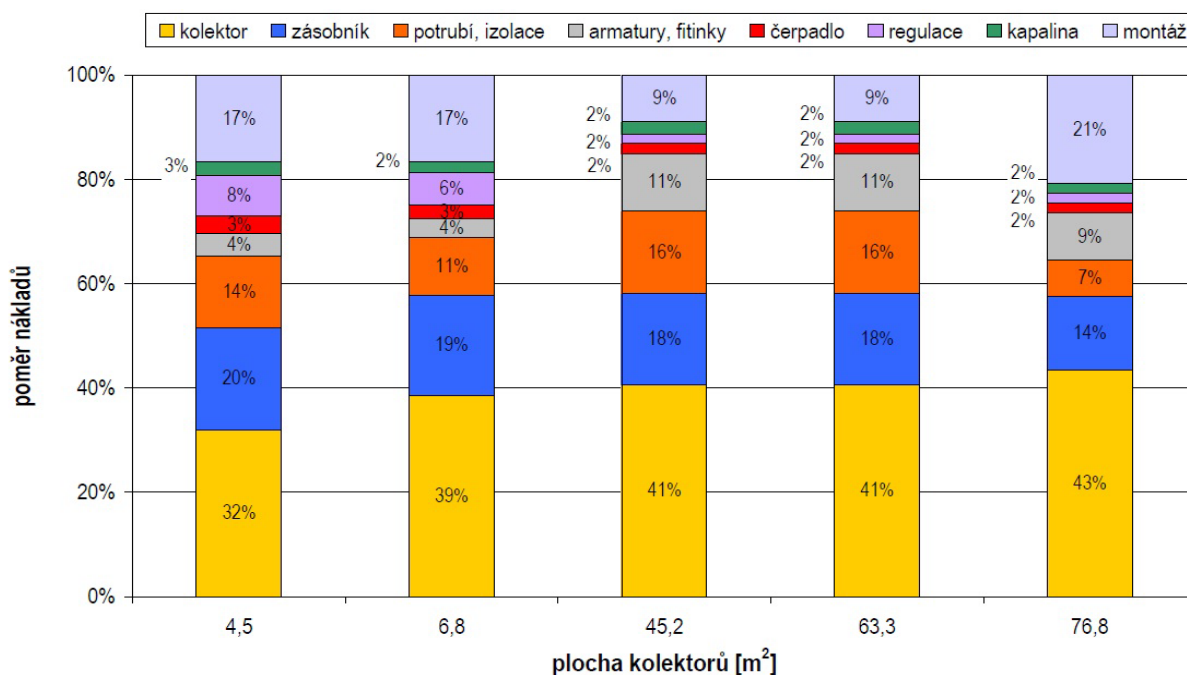
O dotaci lze požádat jak před realizací projektu, tak po ní. Podporu je možné poskytnout na zařízení instalovaná v obytných domech. Oprávněnými žadateli o podporu jsou vlastníci a stavebníci rodinných a bytových domů, kteří dům využívají k bydlení nebo k poskytování bydlení třetím osobám.

Zaměření programu Zelená úsporám vyžaduje využití takových materiálů, výrobků a zařízení a zároveň poskytovaných služeb, které zajistí dosažení cílů programu a environmentálních přínosů pro společnost a zároveň budou zárukou kvality pro realizátory projektů. Proto je možné z programu Zelená úsporám podpořit pouze výrobky, zařízení a technologie uvedené v Seznamu výrobků a technologií (SVT) a službu firem uvedených v Seznamu odborných dodavatelů (SOD).

Z přehledu investičních nákladů je zřejmé, že celková investice do námi navrhovaného systému na ohřev vody bude 89 107 Kč. Námi navržený systém má podle zákona České národní rady č. 388/1992 sb. nárok na udělení státní dotace Zelená úsporám a to v hodnotě až 50 000 Kč + 5 000 Kč na odborný posudek. Systém splňuje všechny sounáležitosti spojené s udělením dotace, jako je: použití certifikovaných komponentů zapsaných v seznamu odborných dodavatelů (SOD) v programu Ministerstva životního prostředí Zelená úsporám, vlastník je fyzická osoba, která je zavázána používat objekt po dobu minimálně 15 let. Dále je nutné k žádosti o dotaci předložit odborný posudek zpracovaný ve smyslu § 4 odst. 3 zákona ČNR č. 388/1992 sb. Tento posudek zpracuje projektant dodavatelské společnosti. [21]

6.1.2 Rozdělení investičních nákladů podle velikosti soustavy

Investiční náklady solárních soustav jsou závislé na instalované ploše a typu solárních kolektorů (plochý nebo vakuový), udává se nárůst investičních nákladů při použití vakuových kolektorů o 25 až 50%. Investiční náklady jsou také závislé na dimenzování solárních prvků jako: potrubí, izolace, konstrukce, objem zásobníku, tepelné výměníky, čerpadlo a expanzní nádoba, které se odvíjejí od velikosti kolektorové plochy. Například pro velké solární soustavy (nad 100 m²) tvoří kolektory 50% z celkové investice. Přehled investičních nákladů podle velikosti soustavy je na obr. 6.1. [18]



Obr. 6.1 Investiční náklady podle velikosti solárních soustav [18]

6.1.3 Provozní náklady

Provozní náklady se vztahují obvykle na rok, pak jsou to roční provozní náklady. Jejich výše u navrženého solárního systému činí viz tab. 6.4. Také lze provést výpočet ceny 1 kWh vyrobené navrženým solárním systémem, cena 1 kWh s dotací a bez dotace je uvedena v tab. 6.5.

Roční provozní náklady	Výše [Kč/rok]
Náklady na spotřebu el. energie oběhovým čerpadlem a řídicí jednotkou	623 Kč
Náklady na výměnu staré teplotnosné kapaliny	177 Kč
Servisní náklady	1000 Kč
Poměrné náklady na výměnu oběhového čerpadla	200 Kč
Celkové provozní náklady	2000 Kč

Tab. 6.4 Roční provozní náklady na provoz solárního systému

Pořizovací náklady	89 107 Kč
Provozní náklady	2 000 Kč
Dotace	55 000 Kč
Náklady celkem za 20 let bez dotace	129 107 Kč
Náklady celkem za 20 let s dotací	74 107 Kč
Plocha systému	5,5 m ²
Roční přínos energie	3 930 kWh/rok
Přínos energie za 20 let	78 600 kWh
Cena 1 kWh solární energie bez dotace	1,7 Kč/kWh
Cena 1 kWh solární energie s dotací	1,0 Kč/kWh

Tab. 6.5 Cena tepla vyrobená navrhovaným systémem

6.1.4 Doba životnosti solárního systému

Pro výpočet návratnosti solárního systému je třeba znát předpokládanou dobu životnosti solárního systému. Proto jsem sestavil do tabulky 6.6 životnost jednotlivých komponent a z nich provedl střední hodnotu pro celkovou životnost solárního systému.

Komponenty	Předpokládaná životnost
Solární kolektor Suntime 2.1	30 let
Solární zásobník OKC 300 NTRR/SOL	15 let
Čerpadlová skupina FV 70 Tacosol ZR	10 let
Průměrná životnost solárního systému	20 let

Tab. 6.6 Předpokládaná životnost solárního systému [23]

6.1.5 Návratnost solárního systému

Návratnost solárního systému vypočteme pomocí prosté návratnosti. Jedná se o velmi jednoduché ekonomické kritérium, bez uvažované inflace a tzv. ušlé příležitosti. Pro samotný výpočet stačí znát cenu energie, kterou platíme za ohřev vody v zásobníku. V našem případě je to elektrická energie ve snížené sazbě D25d, kde je cena 3,7 Kč/kWh.

Dále potřebujeme znát investiční náklady na nové zařízení, roční provozní náklady, předpokládanou délku životnosti a předpokládané množství vyrobené energie. Potom prostou dobu návratnosti vypočteme dle vztahu:

$$T_S = \frac{(T_z \cdot N_p) + N}{(c \cdot E_{sol})} [rok]$$

kde: T_S – prostá doba splácení

T_z – doba životnosti systému (uvažujeme 20 let)

N_p – provozní náklady na provoz solární soustavy (Kč/rok)

N – investiční náklady (Kč)

c – stávající cena energie pro přípravy TUV (Kč/kWh)

E_{sol} – množství vyrobené energie solárním systémem (kWh/rok)

6.1.6 Návrh solárního systému bez státní dotace

Návrh solárního systému bez státní dotace je vypočtena v tab. 6.7.

Doba životnosti systému	20 let
Provozní náklady na provoz solární soustavy	2000 Kč/rok
Investiční náklady bez dotace Zelená úsporám	89 107 Kč
Stávající cena energie pro přípravy TUV	3,7 Kč/kWh
Množství vyrobené energie solárním systémem	3930 kWh/rok
Prostá doba splácení	15,7 let

Tab. 6.7 Návrh solárního systému bez státní dotace

6.1.7 Návrh solárního systému se státní dotací

Návrh solárního systému se započítáním státní dotace je vypočtena v tab. 6.8.

Doba životnosti systému	20 let
Provozní náklady na provoz solární soustavy	2000 Kč/rok
Investiční náklady s dotací Zelená úsporám	34 107 Kč
Stávající cena energie pro přípravu TUV	3,7 Kč/kWh
Množství vyrobené energie solárním systémem	3930 kWh/rok
Prostá doba splácení	9 let

Tab. 6.8 Návrh solárního systému se započtením státní dotace

6.2 Energetické zhodnocení

6.2.1 Energetická amortizace

Jedním z hodnotících parametrů je tzv. „energetická amortizace“, tj. doba, za kterou se vrátí energie vynaložená na výrobu solárních komponent. Solární soustavy mají nízkou potřebu primární energie a tím i krátkou energetickou amortizaci. Náš solární systém se sestává z 3 kolektorů a akumulací nádrže a ostatních částí na propojení solárního okruhu. Energie pro výrobu jednotlivých komponent a spočtená energetická návratnost je v tab. 6.9.

Solární komponenty	Vynaložená energie na výrobu
Solární kolektor (3x)	3 x 500 kWh
Solární zásobník	1700 kWh
Ostatní komponenty (potrubí, čerpadlová skupina, izolace atd.)	1400 kWh
Celková vynaložená energie na výrobu komponent	4600 kWh
Množství energie vyrobené solárním systémem	3930 kWh
Energetická návratnost materiálů	1,2 roku

Tab. 6.9 Energetická amortizace solárního systému [23]

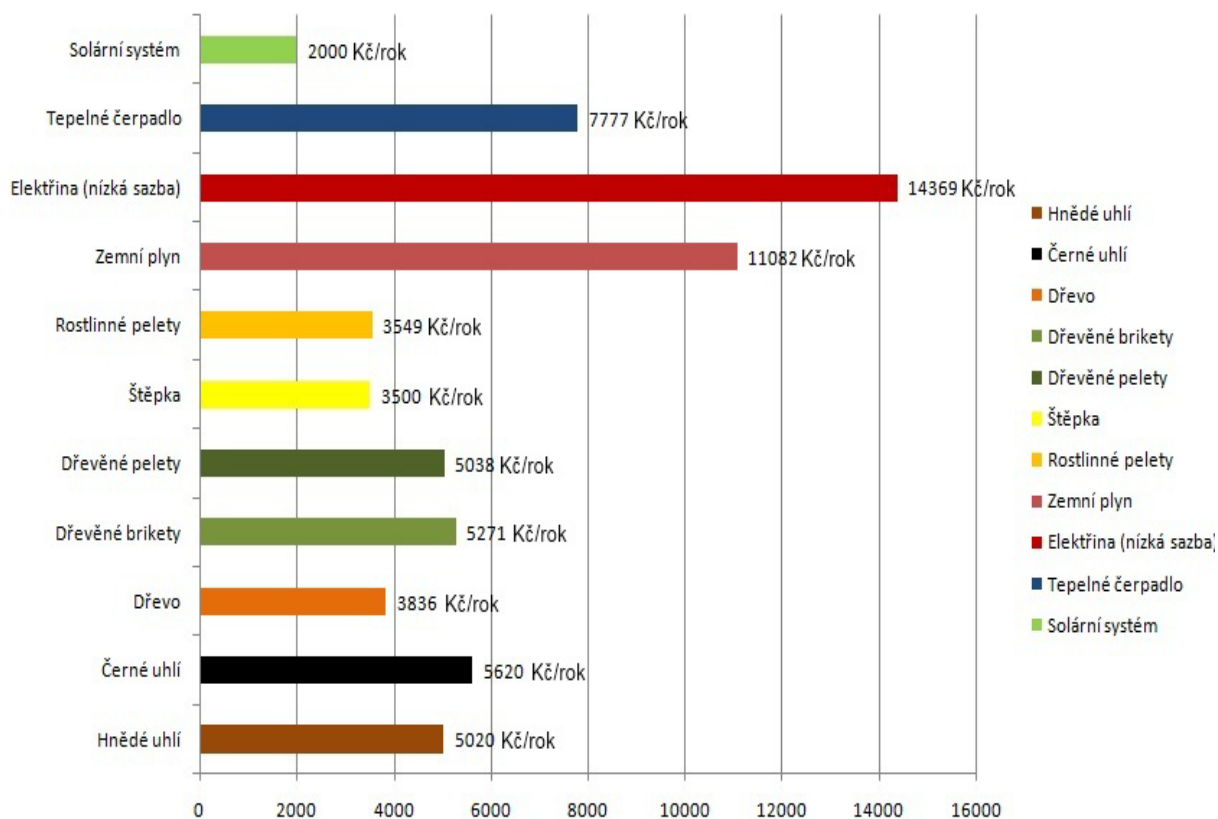
6.2.2 Porovnání nákladů různých zdrojů tepla pro ohřev vody

Pro srovnání našeho systému s ostatními zdroji pro přípravu teplé vody jsem vytvořil tabulku s aktuálními cenami paliv pro různé druhy ohřevů, ceny jsou aktuální k 1.1.2013 a převzaty z portálu tzb-info.cz.

Zdroj tepla	Účinnost [%]	Spotřeba paliva/rok	Cena Kč/kWh	Celkové náklady na ohřev Kč/rok
Hnědé uhlí	Klasický kotel na uhlí 55%	1414 kg	1,29	5020 Kč
Černé uhlí	Klasický kotel na uhlí 55%	1102 kg	1,45	5620 Kč
Dřevo	Kotel na zplynování dřeva 75%	1279 kg	0,99	3836 Kč
Dřevěné brikety	Kotel na zplynování dřeva 75%	1098 kg	1,36	5271 Kč
Dřevěné pelety	Kotel na dřevěné pelety 85%	969 kg	1,3	5038 Kč
Štěpka	Kotel na štěpku 80%	1400 kg	0,9	3500 Kč
Rostlinné pelety	Kotel na rostlinné pelety 90%	972 kg	0,91	3549 Kč
Zemní plyn	Kotel nízkoteplotní 95%	433 m ³	2,85	11 082 Kč
Elektřina (nízká sazba)	Bojler 93%	4182 kWh	3,7	14 369 Kč
Tepelné čerpadlo	Topný faktor 3	1296 kWh	2	7777 Kč
Solární systém	Náš systém 55%	170 kWh	3,7	2000 Kč

Tab. 6.10 Náklady na ohřev TUV různými zdroji tepla [21]

Z tabulky vyplývá, že solární systém má nejnižší roční náklady pro ohřev vody. Je to dáno tím, že jediný prvek v solárním systému spotřebovávající elektrickou energii je oběhové čerpadlo spolu s napájením regulace (dohromady při středním výkonu čerpadla 61 W). Jako druhý nejlevnější ohřev vody vychází štěpka či jiný „dřevní odpad“, musíme však vzít v úvahu komfort obsluhy kotle a také zbytečné „zatápění“ v létě. Cenově zajímavé se jeví tepelné čerpadlo, které by bylo zejména s nízkoteplotním vytápěním vhodným doplňkem pro solární systém. Také je třeba zmínit, že pořízením tepelného čerpadla dostaneme i výhodnější sazbu elektřiny D56 d. Přehledně jsou ceny za ohřev sestaveny viz graf 6.1.



Graf. 6.1 Přehled nákladů na ohřev TUV při používání různých druhů přípravy

6.3 Ekologické zhodnocení

Náš solární systém dokáže za rok vyprodukovat 3 930 kWh energie. Pokud bychom tuto energii byli nuceni získat např. z elektrické energie, která je u nás stále převážně vyráběna v hnědouhelných elektrárnách, do ovzduší by se dostaly následující emise viz tab. 6.11. Množství emisí v ovzduší za dobu 20 let životnosti solárního systému viz tab. 6.12.

Při výrobě 3,9 MWh v hnědouhelné elektrárně vzniknou následující emise za rok:

Emise	Tuhé látky [kg/MWh]	SO ₂ [kg/MWh]	NO _x [kg/MWh]	CO [kg/MWh]	CO ₂ [kg/MWh]
Energetické uhlí	11,700	20,670	30,030	2,535	4730,7

Tab. 6.11 Emise hnědouhelné elektrárny při výrobě 3,9 MWh elektrické energie [11]

Za dobu životnosti 20 let solárního systému by se do ovzduší dostalo takovéto množství emisí:

Emise	Tuhé látky [kg/MWh]	SO ₂ [kg/MWh]	NO _x [kg/MWh]	CO [kg/MWh]	CO ₂ [kg/MWh]
Energetické uhlí	234	413,004	600,060	50,070	94614

Tab. 6.12 Emise, které by vyprodukovala hnědouhelná elektrárna za dobu 20 let životnosti solárního systému [11]

Závěr

Ve své diplomové práci jsem se zabýval návrhem solárního systému na ohřev teplé vody pro dvoučlennou domácnost žijící v rodinném domě. Cílem práce bylo navrhnout co nejlepší systém pro zvolenou lokalitu a provést jeho zhodnocení po stránce ekonomické, energetické a ekologické.

V první části jsem se zabýval slunečním zářením jako takovým, jeho energií a druhy záření, které rozeznáváme. Dále jsou popsány možnosti využití solární energie pro ohřev vody. Zjistil jsem, jaké je solární pokrytí u různých systémů pro ohřev vody. Sestavil jsem komponenty pro solární systém a popsal jejich nejdůležitější parametry, které jsou nezbytné pro správnou volbu solárního systému. Na závěr kapitoly je zmíněn fotovoltaický ohřev vody jako zajímavá myšlenka ohřevu vody. Tento systém je porovnán s fototermickým systémem obdobných parametrů (cena, velikost zásobníku).

Popsal jsem stávající stav rodinného domu a nakreslil půdorysnou plochu domu pro lepší představu o umístění solárních komponent. Provedl jsem výpočet tepelných ztrát rodinného domu před navrhovanou rekonstrukcí a po ní. Tepelné ztráty po provedení rekonstrukce klesnou o třetinu na hodnotu 4 kW, a tudíž má rekonstrukce nárok na státní dotaci Zelená úsporám. Dále jsem se zaměřil na porovnání jednotlivých solárních komponent, která jsou svou funkcí vhodná do navrhovaného solárního systému. Jednou z důležitých solárních komponent je kolektor, u kterého jsem provedl výpočet účinnosti a porovnal jej s konkurenčním kolektorem se stejnou pořizovací cenou.

Z vybraných solárních komponent jsem sestavil solární systém a provedl návrh solárního systému pro rodinný dům v obci Krátká Ves. Z provedených výpočtů jsem zvolil komponenty pro solární systém, které jsou: plochý kolektor Suntime 2.1, solární zásobník OKC 300 NTRR/SOL, solární čerpadlová skupina FV 70 Tacosol ZR a regulace Steca TR 0301.

V závěru mé práce jsem provedl zhodnocení navrhovaného solárního systému po stránce energetické, ekonomické a ekologické

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] CIHELKA, Jaromír. *Solární tepelná technika*. 1. vyd. Praha: T. Malina, 1994, 203 s. ISBN 80-900-7595-9.
- [2] CIHELKA, Jaromír. *Sluneční vytápěcí systémy*. 1.vyd. Praha: T. Malina, 1984. ISBN 04-236-84.
- [3] REMMERS, Karl-Heinz. *Velká solární zařízení: úvod k navrhování a provozu*. 1. vyd. Brno: ERA group, 2007, 315 s. ISBN 978-80-7366-110-6.
- [4] LADENER, Heinz. *Solární zařízení*. 1. vyd. Praha: Grada, 2003, 267 s. ISBN 80-247-0362-9.
- [5] MURTINGER, Karel. *Solární energie pro váš dům*. 1. vyd. Brno: ERA, 2005, vi, 91 s. ISBN 80-736-6029-6.
- [6] *Příprava teplé užitkové vody pomocí sluneční energie*. 1.vyd. Praha: Dům techniky ČSVTS, 1981. ISBN 57-403-81.
- [7] BROŽ, Karel. *Zařízení pro využití sluneční energie: Navrhování*. 1.vyd. Brno: Cech topenářů a instalatérů, 2001. ISBN 80-86208-06-0.
- [8] MATUŠKA, Tomáš. *Solární soustavy pro bytové domy*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010, 136 s. Profi. ISBN 978-80-247-3503-0.
- [9] MITTERMAIR, Franz, Gerhard WEISSE a Werner SAUER. *Zařízení se slunečními kolektory: návody ke svépomocné stavbě systémů pro ohřev vody využitím energie Slunce*. Ostrava: HEL, 1999, 88 s. ISBN 80-861-6702-X.
- [10] HALLER, Andreas. *Solární energie: využití při obnově budov*. 1. vyd. Praha: Ikar, 2001, 177 s. ISBN 80-716-9580-7.
- [11] SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. *Obnovitelné zdroje energie v jižních Čechách a Horním Rakousku*. Praha: EkoWATT, 2000, 77 s. ISBN 80-238-6584-6.
- [12] *Atlas podnebí Česka: Climate atlas of Czechia*. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2007, 255 s. ISBN 978-80-86690-26-1.

Internetové zdroje:

- [13] *Kolektory Suntime* <http://propuls.cz/>
- [14] *Společnost Dražice* <http://dzd.cz/>
- [15] *Expanzní nádoba S 33* <http://reflexcz.cz/>
- [16] *Solární regulace Steca TR 0301* <http://ohrej.se/>
- [17] *Čerpadlová skupina FV 70 Tacosol ZR* <http://eshop.neosolar.cz/>
- [18] <http://tzb-info.cz/>
- [19] <http://ekowatt.cz/>
- [20] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- [21] <http://nazeleno.cz/>
- [22] <http://solarenergy.ch/>
- [23] <http://termowatt.cz>
- [24] <http://regulus.cz>
- [25] <http://protherm.cz>
- [26] <http://opop.cz>

Přílohy



Návrh solárního systému

Název projektu: Rodinný dům Krátká ves

Navrhl: Michal Popovič

Místo instalace: Havlíčkův Brod

Navržené kolektory: RSK II 21

Počet: 3

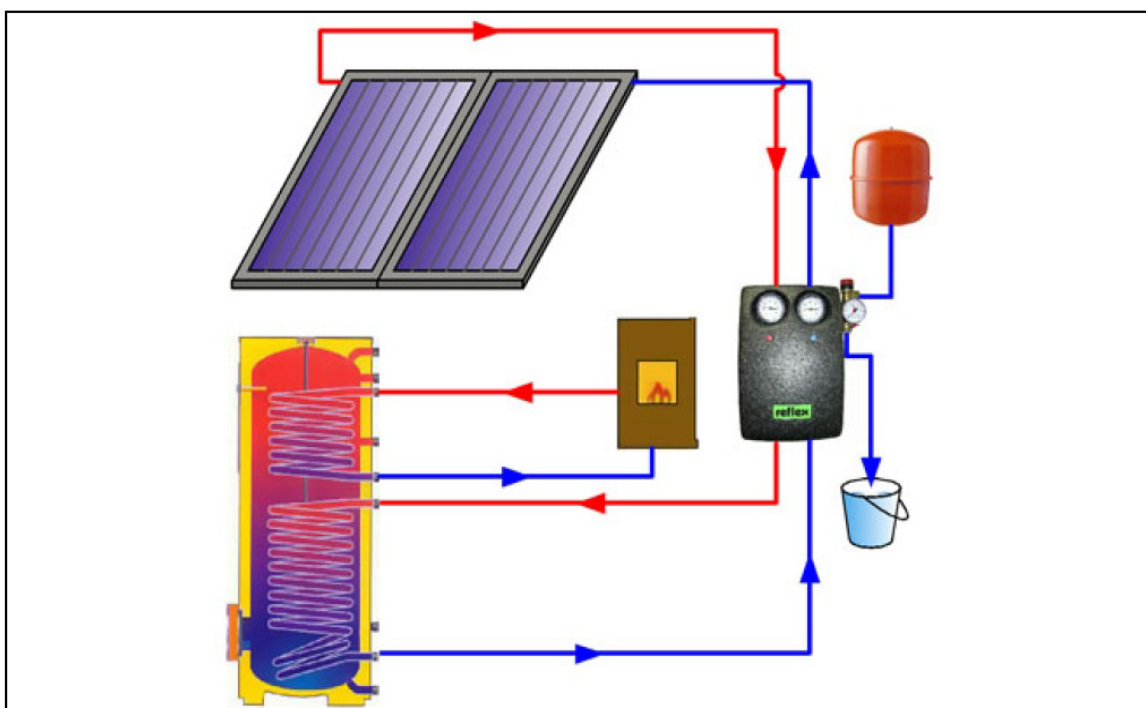
Orientace kolektorů: 0 °

Sklon kolektorů: 40 °

Navržené zásobníky: S 300-2

Počet: 1

1. Schéma solárního systému



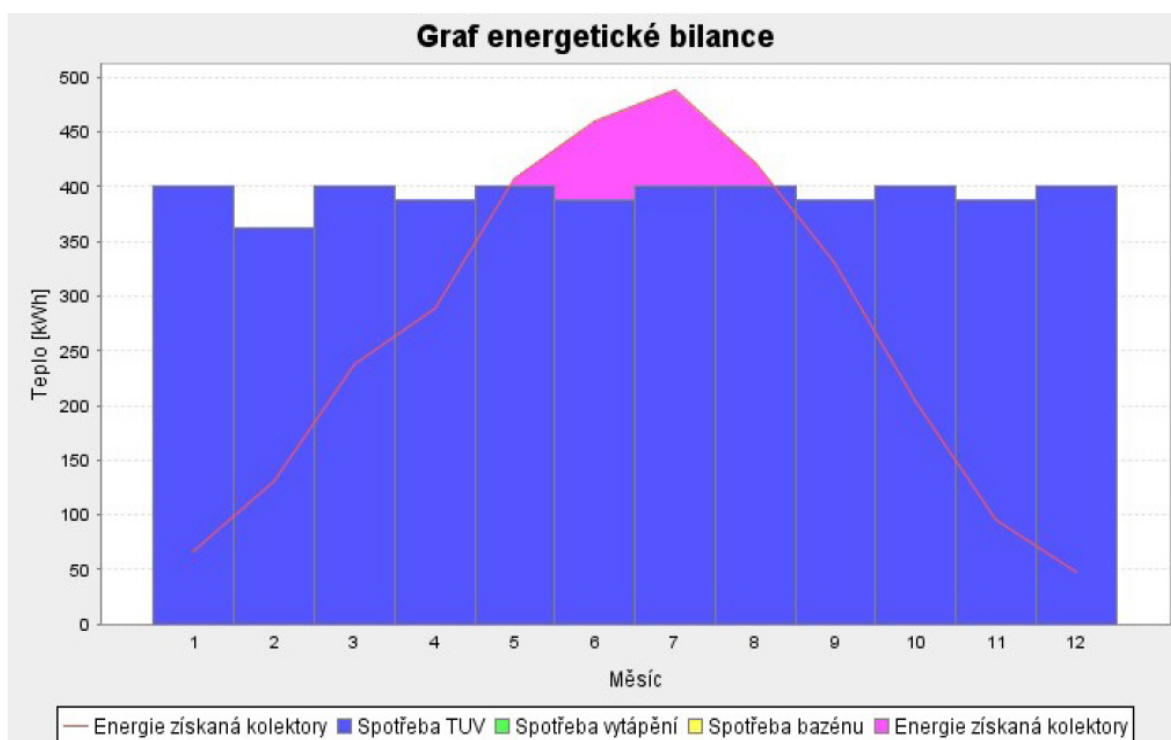
Ohřev TV v bivalentním zásobníku

POPIS : Nejvíce rozšířený systém pro solární ohřev teplé vody pomocí bivalentního (dvouvýměnkového) zásobníku. Horní výměník slouží pro dohřev teplé vody kotlem. Ten v nepříznivém počasí udržuje nahřátou vrchní polovinu zásobníku. Na spodní výměník je připojen solární okruh, který ohřívá vodu ve spodní polovině zásobníku a zároveň nahřívá celý zásobník na vyšší teploty (možno až do 90 stupňů Celsia).




2. Energetická bilance

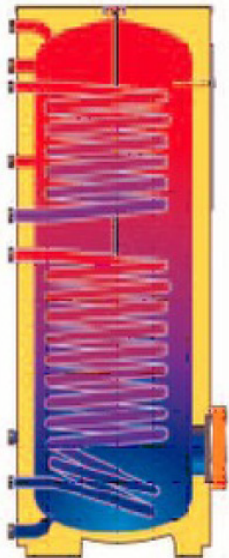
Měsíc	Spotřeba celkem	Zisk kolektorů	Solární pokrytí	Spotřeba pro TUV	Zisk pro TUV	Zisk pro TUV	Spotř. pro vytápění	Zisk pro vytápění	Zisk pro vytápění	Spotř. pro bazén	Zisk pro bazén	Zisk pro bazén
	kWh	kWh	%	kWh	kWh	%	kWh	kWh	%	kWh	kWh	%
Leden	400	66	16,5	400	66	16,5	0	0	0,0	0	0	0,0
Únor	362	130	36,0	362	130	36,0	0	0	0,0	0	0	0,0
Březen	400	237	59,3	400	237	59,3	0	0	0,0	0	0	0,0
Duben	388	289	74,6	388	289	74,6	0	0	0,0	0	0	0,0
Květen	400	407	100,0	400	400	100,0	0	0	0,0	0	0	0,0
Červen	388	460	100,0	388	388	100,0	0	0	0,0	0	0	0,0
Červenec	400	488	100,0	400	400	100,0	0	0	0,0	0	0	0,0
Srpen	400	421	100,0	400	400	100,0	0	0	0,0	0	0	0,0
Září	388	330	85,3	388	330	85,3	0	0	0,0	0	0	0,0
Říjen	400	205	51,1	400	205	51,1	0	0	0,0	0	0	0,0
Listopad	388	95	24,5	388	95	24,5	0	0	0,0	0	0	0,0
Prosinec	400	48	12,1	400	48	12,1	0	0	0,0	0	0	0,0
	4 715	3 177	63,4	4 715	2 989	63,4	0	0	0,0	0	0	0,0





3. Popis hlavních komponent solárního systému

<p>Kolektor: RSK II 21</p> <p>POPIS: Deskový solární kolektor, rám a zadní vana z Al, trubky a absorber z Cu, povrch absorberu selektivní TiNox vrstva, vhodný pro celoroční provoz.</p> <p>TECHNICKÉ ÚDAJE: Celková plocha: 2,19 m² Absorbční plocha: 1,84 m² Rozměry (V x Š x H): 1900/1060/86 mm Hmotnost: 41 kg Objem: 1,4 l Koef. absorpce: 0,95 Koef. emise: 0,05 Připojení: CU 22x0,8 Optimální průtok: 25 l/m², hod Optická účinnost: 78 % Součinitel Q1: 2.097 W/m²K Součinitel Q2: 0.014 W/m²K²</p>	
---	--

<p>Zásobník: S 300-2</p> <p>POPIS: Bivalentní stojatý zásobník pro ohřev pitné vody; dvě výhřevné plochy pro ohřev pitné vody; nádoba zásobníku z kvalitní oceli RSt 37-2; hygienicky nezávadná voda; hořčičková anoda; teploměr; nátrubek Rp 1 ? pro dodatečné topné těleso.</p> <p>TECHNICKÉ ÚDAJE: Dovolený provozní přetlak: topná voda, solár 16 barů / pitná 10 barů Dovolená provozní teplota: topná voda, solár 110°C / pitná 95°C Jmenovitý objem: 300 l Průměr: 600 mm Výška: 1834 mm Hmotnost: 160 kg Výhřevná plocha horní: 0,8 m² dolní: 1,55 m² Tloušťka izolace: 50 mm Trvalý výkon horní: 26 kW 630 l/hod Trvalý výkon dolní: 48 kW 1170 l/hod</p>	
--	---